E 2040/1
04
R 1985 MAR 0 2
REFERALVA
66
(Energia)
Elektrotechn.

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI ANUL 33 • NR. 1 • IANUARIE 1985

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

Anul 33 Nr. 1 ianuarie 1985

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 621.318 : 621.313

METODA ELEMENTELOR FINITE
TURBOGENERATOR

Nicolaide, A. : **Utilizarea metodei elementelor finite cu realizarea automată a conexiunilor reţelei pentru calculul caracteristicii de magnetizare a unui turbogenerator.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, ian 1985, p. 1

Se utilizează procedeul de aplicare a metodei elementelor finite, propus anterior de autor, pentru un caz care prezintă importanţă practică, şi anume, calculul caracteristicii de magnetizare a unui turbogenerator. Se descrie programul de calcul întocmit de autor în limbaj FORTRAN. Se compară rezultatele obţinute astfel, cu cele obţinute prin metoda aproximării liniilor de cîmp în literatură. Se apreciază eficienţa utilizării metodei elementelor finite.

CZ 621.311 : 621.369 : 63

CENTRALĂ SOLARĂ
CONCENTRARE
USCARE
AGRICULTURĂ

Tănăsescu, Fl. T. ş.a. : **Centrală termică solară cu captatoare cilindro-parabolice destinată producerii de aer cald şi apă caldă pentru procese de uscare şi alte utilizări tehnologice.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, ian 1985, p. 9

Se prezintă o aplicaţie a captatoarelor cilindro-parabolice cu concentrare, pentru cazul unei centrale termice solare destinată producerii de aer şi apă caldă pentru procese tehnologice de uscare în agricultură. Sînt prezentate metodele de calcul, ca şi principiile ce stau la baza alegerii unor elemente ale schemei şi ale construcţiei. Această centrală, intrată în funcţiune la parametrii nominali din anul 1984, confirmă valabilitatea premiselor de calcul, rezultatele obţinute pledînd pentru o generalizare a sa şi pentru alte aplicaţii vizînd procese de uscare în agricultură şi alte procese care necesită temperaturi pînă la 80°C. Prin suprafaţa de captatoare de care dispune ca şi maneabilitatea schemei de a oferi atît aer cald, cît şi apă caldă, centrala, ce face obiectul acestui articol, se înscrie printre cele mai puternice centrale termice solare de acest gen din Europa, conţinînd numeroase elemente de originalitate atît în domeniul constructiv, cît şi al schemelor de reglaj.

CZ 621.316 : 621.313.047

CONTACTE LINIARE
APARATE DE COMUTAŢIE DE C.C.

Hortopan, G. : **Un concept unitar asupra contactelor electrice.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, ian 1985, p. 17

Puţine sînt cunoştinţele teoretice şi experimentale de care dispunem cu privire la contactele liniare. Acestea sînt utilizate pe scară largă în special în construcţia aparatelor de comutaţie de curent continuu. Un contact liniar poate suporta, în regim normal de exploatare, un curent de pînă la 3 150 A. Scopul lucrării este de a stabili relaţii de calcul pentru aria şi rezistenţa electrică a contactului liniar. Autorul propune două modele fizice ca bază pentru calcul. Relaţiile de calcul obţinute se integrează în conceptul unitar asupra contactelor electrice. Verificările experimentale arată un acord satisfăcător cu relaţiile propuse.

CZ 621.317 : 7.621 — 752

SURSE DE VIBRAŢII
INSTALAŢII DE VIBRAT

Darie, S., Bălan, H. : **Instalaţie pentru testarea la vibraţii a echipamentelor. Partea I-i. Excitatori de vibraţii.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, ian 1985, p. 22

Lucrarea prezintă principalele surse de vibraţii care se pot utiliza în instalaţiile de vibrat. Se recomandă ca sursă de vibraţie oscilomotorul sincron liniar pentru care se dau ecuaţiile de funcţionare.

CZ 628.93.001.24

ILUMINAT INTERIOR
FACTORI DE LEGĂTURĂ
CALCULUL ILUMINĂRII

Dinculescu, P. : **Factorii de legătură între suprafeţele unei instalaţii de iluminat interior.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, ian 1985, p. 27

Lucrarea conţine expresiile de calcul pentru factorii de legătură între suprafeţele unei încăperi iluminate, considerate separat ca suprafeţe dreptunghiulare. Relaţiile stabilite permit calculul fluxurilor luminoase finale şi al componentei reflectate a iluminării medii pe suprafeţe, produse de iluminatul general, precum şi calculul fluxului direct şi al iluminării medii directe în cazul iluminatului artificial şi natural realizat prin una sau mai multe suprafeţe ale încăperii. Scrierea relaţiilor în mărimi relative şi adimensionale face posibilă tabelarea sau trasarea de curbe ale valorilor factorilor de legătură în funcţie de indicele instalaţiei şi, după caz, de raportul de suspendare.

CZ 621.314.5 : 621.431

CONVERTOR
MOTOR PAS CU PAS

Voiculescu, E. : **Simulare numerică şi rezultate experimentale în comanda motoarelor pas cu pas.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, ian 1985, p. 38

Lucrarea tratează două moduri de alimentare a motoarelor pas cu pas : cu două tensiuni şi prin choppere. Scopul lucrării îl constituie determinarea mărimilor pe baza cărora se proiectează convertorul motorului.

CZ 621.3 : 621.317.7.

TEHNICA TENSIUNILOR ÎNALTE
DIVIZOARE DE TENSIUNE

Marinescu, A., Catană, Şt. : **Măsurarea numerică directă a raportului divizoarelor de înaltă tensiune.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, ian 1985, p. 44

În laboratoarele de înaltă tensiune, mare putere, cît şi la măsurătorile executate în reţelele de înaltă tensiune apare problema verificării operative a raportului de divizare al divizoarelor de înaltă tensiune. În articol se prezintă un aparat destinat măsurării numerice directe a raportului cu o precizie de măsurare de 0,5 % şi rezultatele experimentărilor efectuate.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. ing. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei R. S. România ; prof. dr. ing. C. APETREI ; acad. dr. doc. şt. tehn. ing. A. AVRAMESCU ; ing. I. BATRÎNA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. N. BOŢAN ; dr. ing. C. BULUCEA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. S. CĂLIN ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. T. DORDEA ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. S. FLOREA ; prof. dr. ing. M. HÂNGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; prof. dr. ing. S. PUŞCAŞU ; ing. M. SÎRBU ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI
Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.318: 621.313
МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ТУРБОГЕНЕРАТОР

Николаиде, А.: **Использование метода конечных элементов с автоматическим осуществлением связей сети для расчёта характеристики намагничивания турбогенератора.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, № 1, январь 1985, стр. 1

Способ применения метода конечных элементов, предлагаемый прежде автором, на случай практического значения, а именно для расчёта характеристики намагничивания турбогенератора. Описана программа расчёта установленная автором на языке программирования ФОРТРАНА. Получаемые таким образом результаты сравниваются с результатами, получаемыми в литературе по методу аппроксимации линий поля. Оценивается эффективность применения метода конечных элементов.

УДК 621.311: 621.369: 63
СОЛНЕЧНАЯ СТАНЦИЯ
КОНЦЕНТРАЦИЯ
ВЫСУШИВАНИЕ
СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Тэнэсеску, Фл. Т. и др.: **Термическая солнечная станция с цилиндрическо-параболическими улавливателями, предназначенная для получения теплого воздуха и теплой воды для процессов высушивания и для других технологических назначений.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, № 1, январь 1985, стр. 9

В настоящей работе представлено применение цилиндрическо-параболических улавливателей с концентрацией, используемые в термических солнечных станциях, предназначенных для получения теплого воздуха и тёплой воды при технологических процессах высушивания в сельском хозяйстве. Описываются методы расчёта, а также принципы, используемые при выборе некоторых элементов схемы и конструкции. Эта станция, вошедшая в эксплуатацию при номинальных параметрах в 1984 г., подтверждает действительность предпосылок расчёта, а полученные результаты говорят о возможности их обобщения, а также о возможностях других применений в процессе высушивания в сельском хозяйстве, а также в других процессах, где необходима температура до 80°С.

Благодаря поверхности улавливателей, которыми обладает станция, и способности схемы поставлять как тёплый воздух, так и теплую воду, станция, описываемая в этой статье, представляет собой одну из самых мощных термических солнечных станций этого типа в Европе. Элементы, входящие в эту станцию оригинальны как с точки зрения конструкции, так и с точки зрения схем регулировки.

УДК 621.316: 621.313.047
ЛИНЕЙНЫЕ КОНТАКТЫ
ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ ПРИБОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Нортопан, Г.: **Единое понятие электрических контактов.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, № 1, январь 1985, стр. 17

Ещё мало теоретических и экспериментальных сведений относительно линейных контактов. Они широко применяются особенно в конструкции переключающих приборов постоянного тока. Один линейный контакт может выдержать в режиме нормальной работы ток до 3 150 А. Цель работы является определение расчётного уравнения для площади и электрического сопротивления линейного контакта. Автор предлагает две физические модели в качёстве основы для расчёта. Полученные уравнения расчёта входят в единое понятие электрических контактов. Экспериментальная проверка подтверждает верность полученных уравнений.

УДК 621.317.7: 621-752
ИСТОЧНИКИ ВИБРАЦИЙ
ВИБРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ

Дарие, С., Бэлан, Х.: **Установка для контроля на вибрацию оборудования. Часть первая. Возбудители вибраций.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, № 1, январь 1985, стр. 22

Работа представляет основные источники вибраций, которые могут быть использованы в вибрирующих установках. В качестве источника вибраций рекомендуется синхронный линейный осцилирующий двигатель, для которого даются уравнения работы.

УДК 628.93.001.24
ВНУТРЕННЕЕ ОСВЕЩЕНИЕ
КОЭФФИЦИЕНТЫ СВЯЗИ
РАСЧЁТ ОСВЕЩЕННОСТИ

Динкулеску, П.: **Коэффициенты связи между поверхностями установки внутреннего освещения.**

E.E.E.—**Electrotehnica 33**, № 1, январь 1985, стр. 27

Работа содержит уравнения расчёта коэффициентов связи между поверхностями освещенного помещения, принимаемые как отдельные прямоугольные поверхности. Установленные уравнения позволяют расчитать конечные потоки и отраженной составляющей средней освещенности поверхности, получаемой от общего освещения, а также расчёт прямого потока и средней прямой освещенности в случае искуственного и натурального освещения, получаемого через одной или нескольких поверхностях помещения. Описание уравнений в относительных и безразмерных величинах позволяет составлять таблицы или проводить кривые значений коэффициентов связи в зависимости от индекса установки и, в отдельных случаях, в зависимости от отношения подвешивания.

УДК 621.314.5: 621.431
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Войкулеску, Е.: **Цифровое моделирующее устройство и экспериментальные результаты в управлении шаговыми двигателями.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, № 1, январь 1985, стр. 38

В работе описываются два способа питания шаговых двигателей: двумя напряжениями и прерывателями. Целью работы является определение основных величин, на основе которых проектируется преобразователь двигателя.

УДК 621.3: 621.317.7
ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ
ДЕЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ

Маринеску, А., Катанэ, Шт.: **Прямое цифровое измерение отношения делителей высокого напряжения.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, № 1, январь 1985, стр. 44

В лабораториях высокого напряжения, больших мощностей, а также при измерениях, проводимых в сетях высокого напряжения, появляется задача оперативного определения отношения деления делителей высокого напряжения. В статье представлен прибор, предназначенный для прямого цифрового измерения отношения с точностью измерения 0,5% и результаты проведенных экспериментов.

INHALT

DK 621.318 : 621.313

METHODE DER FINITEN ELEMENTE
TURBOGENERATOR

Nicolaide, A. : **Anwendung der Methode der finiten Elemente mit automatischer Ausführung der Netzverbindungen für die Berechnung der Magnetisierungskennlinie eines Turbogenerators.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 1, Jan 1985, S. 1

Das Anwendungsverfahren der Methode der finiten Elemente, schon fürher vom Verfasser vorgeschlagen, wurde benützt für einen Fall von praktischer Bedeutung, u. zw. die Berechnung der Magnetisierungskennlinie eines Turbogenerators. Es wird das vom Verfasser in FORTRAN — Sprache aufgestellte Rechenprogramm beschrieben. Die so erhaltenen Ergebnisse werden mit den Ergebnissen, die in der Fachliteratur durch die Methode der Näherung der Feldlinien erhalten wurden, verglichen. Es wird die Nutzbarkeit der Methode der finiten Elemente eingeschätzt.

DK 621.311 : 621.369 : 63

SOLARZENTRALE
KONZENTRIERUNG
TROCKNUNG LANDWIRTSCHAFT

Tănăsescu, Fl. T. u.a. : **Thermische Solarzentrale mit Zylinder-Parabelaufnahmeeinrichtungen, die für die Erzeugung von warmer Luft und von warmem Wasser für Trocknungsprozesse und andere technologische Anwendungen bestimmt ist.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 1, Jan 1985, S. 9

Es wird eine Anwendung der Zylinder — Parabelaufnahmeeinrichtungen mit Konzentrierung, für den Fall einer thermischen Solarzentrale, die für die Erzeugung von warmer Luft und warmen Wasser für technologische Trocknungsprozesse in der Landwirtschaft bestimmt ist, dargestellt. Es werden die Rechenmethoden, sowie die Grundsätze, die der Wahl einiger Elemente des Schemas und des Aufbaus zugrundeliegen, beschrieben. Diese Zentrale, die ab dem Jahr 1984 bei den nominellen Parametern inbetriebgesetzt wurde, bestätigt die Gultigkeit der Vordasset ungen der Berechnung. Die erhaltenen Ergebnisse plädieren für seine Generalisierung auch für andere Anwendungen, die Trocknungsprozesse in der Landwirtschaft, sowie andere Prozesse, die Temperaturen bis zu 80° C benötigen, visieren. Durch die Oberfläche der Aufnagmeeinrichtungen über die sie verfügt, als auch durch die Eigenschaft des Schemas, sowohl warme Luft, als auch warmes Wasser anzubieten, kann die Zentrale, die Gegenstand dieser Arbeit ist, zu den kräftigsten thermischen Solarzentralen dieser Art in Europa gezähl werden und enthält zahlreiche eigenartige Elemente, sowohl im konstruktiven Bereich, als auch in Bereich der Regelschaltungen.

DK 621.316 : 621.313.017

LINEARE KONTAKTE
GLEICHSTROM — SCHALTAPPARATE

Hortopan, G. : **Ein einheitliches Konzept über die elektrischen Kontakte.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 1, Jan 1985, S. 17

Zur Zeit verfügen wir über wenige theoretische und experimentelle Kenntnisse über die linearen Kontakte. Diese werden aud breiter Skala insbesondere beim Bau der Gleichstrom — Schaltapparate benützt. Ein linearer Kontakt kann, in normalem Betrieb, einen Strom von bis zu 3150 A vertragen. Der Zweck der Arbeit ist, Berechnungsbeziehungen für den Flächenwert und dem elektrischen Widerstand des linearen Kontaktes festuzstellen. Der Autor schlägt zwei physikalische Modelle als Berechnungsbasis vor. Die erhaltenen Berechnungsbeziehungen fügen sich im einheitlichen Konzept über die elektrischen Kontakte ein. Die experimentellen Prüfungen zeigen eine befriedigende Übereinstimmung mit den vorgeschlagenen Beziehungen .

DK 621.317 : 621 — 752

SCHWINGUNGSQUELLEN
SCHWINGUNGSANLAGEN

Darie, S., Bălan, H. : **Anlage für die Prüfung der Ausrüstungen bei Schwingungen. Erste Teil. Schwingungserreger.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 1, Jan 1985, S. 22

Die Arbeit beschreibt die wichtigsten Schwingungsquellen, die in den Schwingungsanlangen eingesetzt werden können. Als Schwingungsquelle wird der lineare synchrone oszylomotor empfohlen, für den die Funktionsgleichungen gegeben werden.

DK 628.93.001.24

INNENBELEUCHTUNG
BINDUNGSFAKTOREN
BELEUCHTUNGSSTARKE BERECHNUNG

Dinculescu, S. : **Bindungsfaktoren zwischen den Oberflächen einer Innenbeleuchtungsanlage.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 1, Jan 1985, S. 27

Die Arbeit enthält die Berechnungsausdrücke für die Bindungsfaktoren zwischen den Oberflächen eines beleuchteten Raumes, die getrennt als rechteckige Oberflächen betrachtet werden. Die festgestellten Beziehungen erlauben die Berechnung der finalen Lichtströme und der reflektierten Komponente der mittleren Beleuchtungsstärke auf Oberflächen, erzeugt von der Allgemeinbeleuchtung, sowie die Berechnung des direkten Lichtstroms und der direkten mittleren Beleuchtungsstärke im Fall der künstlichen und natürlichen Beleuchtung, die durch eine oder mehrere Oberflächen des Raumes realisiert ist. Das schreiben der Beziehungen in relativen und adimensionalen Grössen ermöglicht die Tabellarisierung oder das Pestlegen von Kurven der Werte der Bindungsfaktoren gemäss dem Kennwert der Anlage und, je nach dem Fall, laut dem Aufhängungsverhältnis

---

DK 621.314.5 : 621.431

WANDLER
SCHRITTMOTOR

Voiculescu, E. : **Numerische Simulierung und experimentell Ergebnisse in der Steuerung der Schrittmotoren.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 1, Jan 1985, S. 38

Die Arbeit beschreibt zwei Versorgungsarten der Schrittmotoren : mit zwei Spannungen und durch Drehschalter. Der Zweck der Arbeit ist die Bestimmung der Grössen auf Grund derer der Wandler des Motors entworfen wird.

DK 621.3 : 621.317.7

DIE TECHNIK DER HOCHSPANNUNGEN
SPANNUNGSTEILER

Marinescu, A., Catană, Şt. : **Direkte numerische Messung des Verhaltnisses der Hochpannungsteiler.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 1, Jan 1985, S. 44

In den Laboratorien mit Anwendungen von hoher Spannung oder von hoher Leistung, sowie bei den in Hochspannungsnetzen ausgeführten Messungen, erscheint das Problem der operativen Prüfung des Teilungsverhältnisses der Hochspannungsteiler. In der Arbeit werden ein Gerät, das für die direkte numerische Messung des Verhältnisses mit einer Messgenauigkeit von 0,5 % bestimmt ist, sowie die Ergebnisse der ausgeführten Versuche beschrieben.

CONTENTS

DC 621.318 : 621.313

FINITE ELEMENT METHOD
TURBOGENERATOR

Nicolaide, A. : **Utilization of the finite element method with automatic generation of the mesh connections for calculating the magnetization characteristic of a turbogenerator.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 1

The procedure for the application of the finite element method with automatic generation of the mesh connections, previously proposed by the author, is used for a case of practical importance namely for calculating the magnetization characteristic of a turbogenerator. The computer program prepared by the author in FORTRAN language is described. The results so obtained are compared with those obtained by the method of field line approximation of the literature. The effectiveness when using the finite element method is estimated.

DC 621.311 : 621.369.63

THE SOLAR POWER STATION
CONCENTRATION
DRYING
AGRICULTURE

Tănăsescu, Fl. T. and others : **Solar thermal power station with cilindrical-parabolic collecters meant to produce hot air and hot water for drying processes and other technological utilizations.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 9

It is presented on application of the cylindical parabolic collectors with concentration, in the case of a solar thermal power station meant to produce hot air and hot water for technological drying processes used in agriculture. They present methods of calculation as well as the principles which lie at the basis of the choice of certain elements belonging to the diagram and to the construction. This power station set working at normal parameters of 1984, confirms the validity of the calculation premisses, the results so obtained pleading for its generalization to other applications aiming at drying processes used in agriculture and to other processes requiring temperatures up to 80°C. Having such a surface of collectors as well as the possibility of the diagram to offer both hot air and hot water, the power station, which forms the subject of this article, joins the most powerful solar thermal power stations of this kind in Europe. Laving various original elements both in the constructive and control diagram fields.

DC 621.316 : 621.313.047

LINEAR CONTACTS
SWITCHING — OVER APPARATUS OF DIRECT CURRENT

Hortopan, G. : **A unitary concept on electric contact.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 17

Our theoretic and experimental information concerning linear contacts is slight linear contacts are used on a large scale especially when designig switchingover apparatus of direct current. A linear contact can bear, under normal working conditions, a current that does not go beyond 3150A. The aim of this paper is to set up calculation relations for the surface and the electric resistance of the linear contact. The author proposes two physical models as a basis for calculation. The obtained calculation relations join the unitary concept on electric contacts. Experimental check-ups prove a satisfactory concordance with the proposed relations.

DC 621.317.7 : 621 — 752

SOURCES OF VIBRATIONS
INSTALLATIONS PRODUCING VIBRATIONS

Darie, S., Bălan, H. : **Testing installation for equipements when vibrations are produce. Part I. Vibration Exciters.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 22

The paper presents the main sources of vibrations that can be used in vibrating installation. As source of vibration the synchronous linear oscillating motor is recommended for which they give the working equations.

DC 628.92.001.24

INTERIOR LIGHTING
FORM FACTORS
CALCULATION OF ILLUMINANCE

Dinculescu, P. : **Form factors between the surfaces of an interior lighting installation.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 27

This paper deals with the expressions of calculation for the form factors between the surfaces of a lit up room, considered each as a rectangular surface. The set up relations permit to calculate the final light fluxes and the reflected component of mean illuminance on surfaces, produced by general lighting as well as the fluxes and the direct mean illuminance in the case of artificial and natural lighting achieved through one or more surfaces of the room. To write the relations in relative and dimensionless quantities means to render possible the drawing up of tables or the setting out of curves of forms factors values depending on the installation index and as the case might be, on the suspension height ratio.

DC 621.314.5 : 621.431

CONVERTOR
STEP-BY-STEP MOTOR

Voiculescu, E. : **Numerical stimulation and experimental results when controlling step-by step motors.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 38

The paper dwells upon two ways of supplying step-by-step motors : with two tensions and by chopping. The paper aims at finding out the quantities on the basis of which the convertor of the motor is designed.

DC 621.3 : 621:317.7

HIGH TENSIONS TECHNIQUES
VOLTAGE DIVIDER

Marinescu, A., Calană, Șt. : **Direct numerical measurement of the proportion of voltage dividers of high tension.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 44

In laboratories of high tension and of high power as well as when executing measurements in high tension networks, it rises the problem of effective revaluation of the dividing proportion of high tension voltage dividers. The article presents a device meant to do the direct numerical measurement of the proportion with on accuracy of measurement of 0,5 % and the results of the performed experimentations.

SOMMAIRE

CD 621.318 : 621.313

METHODE DES ÉLÉMENTS FINIS
TURBOALTERNATEUR

Nicolaide, A. : **Utilisation de la méthode des éléments finis avec la réalisation automatique des connexions du réseau pour le calcul de la caractéristique de magnétisation d'un turboalternateur.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 1

On utilise le procédé d'application de la méthode des éléments finis, proposé antérieurement par l'auteur, pour un cas d'importance pratique, à savoir le calcul de la caractéristique de magnétisation d'un turboalternateur. On décrit le programme de calcul établi par l'auteur en langage FORTRAN. Les résultats ainsi obtenus sont comparés à ceux obtenus par la méthode d'approximation des lignes de champ dans la littérature. On estime l'efficacité de la méthode des élements finis.

CD 621.311 : 621.369.63

CENTRALE SOLAIRE
CONCENTRATION
SÈCHAGE
AGRICULTURE

Tănăsescu, Fl. T. e.a. : **Centrale thermique solaire avec capteurs cylindro — paraboliques, destinée à la production d'air chaud et d'eau chaude, pour des proeessus de sèchage et pour d'autres utilisations technologiques.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 9

On présente une application des capteurs cylindro-paraboliques avec concentration, pour une centrale thermique solaire destinée á la production d'air chaud et d'eau chaude pour des processus technologiques de séchage en agriculture. On présente les méthodes de calcul, tout comme les principes qui se trouvent à la base de la sélection des éléments du schéma et de la construction. Cette centrale, mise en fonction aux paramétres normaux en 1984, confirme la valabilité des prémisses de calcul, les résultats obtenus plaidant pour sa généralisation et pour d'autres applications visant des procéssus de séchage en agriculture et d'autres procéssus qui nécessitent des temperatures jusqu'a 80°C. Grâce au nombre de capteurs disponibles et á la malléabilité du schéma d'offrir de l'air chaud et aussi de l'eau chaude, la centrale qui fait l'objet de cet article, se trouve parmi les plus puissantes centrales thermiques solaires de ce genre de l'Europe, contenant de nombreux éléments d'originalité, tout dans le domain constructif que dans cellui des schémas de réglage.

CD 621.316 : 621.313.047

CONTACTS LINÉAIRES
DISPOSITIF DE COMMUTATION DE C.C.

Hortopan, G. : **Un concept unitaire sur les contacts électriques.**

E.E.A. — **Electrotechnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 17

Il y a peu de connaissances théoriques et expérimentaux dont on dispose, concernant les contacts linéaires. Rolles sont utilisées sur une grande échelle surtout dans la construction des dispositifs de commutation de courant contenu. Un contact linéaire peut supporter, dans un régime normale d'exploitation, un courant d'au maximum 3150 A.
L'ouvrage se propose d'établir des relations de calcul pour l'aire et pour la résistance électriques du contact linéaire. L'auteur propose, comme point de départ pour le calcul, deux modéles physiques. Les relations de calcul obtenues dans la conception unitaire sur les contacts électriques. Les verifications expérimentalles démontrent un accord satisaisant avec les relations proposées.

CD 621.317.7 : 62 — 752

SOURSES DE VIBRATIONS
INSTALATION DE VIBRATION

Darie, S., Bălan, H. : **Installation pour l'essai aux vibrations des équipements. Première partie. Excitateurs de vibrations.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 17

L'ouvrage présente les principalles sources de vibrations qui peuvent être utilisées pour les installations de vibration. On recommande comme source de vibration oscillomoteur sincron linéaire pour lequel on donne les équations de fonctionnement.

CD 628.93.001.24

ECLAIRAGE INTÉRIEUR
FACTEUR DE FORME
CALCUL D'ÉCLAIREMENT

Dinculescu, P. : **Facteurs de forme entre les surfaces d'une installation d'éclairage intérieur.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 27

L'ouvrage contient les expressions de calcul pour les facteurs de forme entre les surfaces d'une piéce éclairée, considérées séparémment comme surfaces rectangulaires. Les relations établies permettent le calcul des flux lumineux finals et de la composante réflectée de l'éclairement moyen sur des surfaces produits par l'éclairage générale, ainsi que, le calcul du flux direct et de l'eclairement moyen directe, dans le cas de l'éclairage artificiel et naturel réalisés par l'une ou plusieurs surfaces de la piéce. La notation des relations en grandeurs relatives et adimensionnelles font posible la mise en tabels ou le tracé des courbes des valeurs des facteurs de forme en fonction de l'indice de l'installation et d'après le cas, du rapport de suspension.

CD 621.314.5 : 621.431

CONVERTISEUR
MOTEUR PAS À PAS

Voiculescu, E. : **Simulation numérique et résultats expérimentaux dans la commande des moteur pas à pas.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 38

L'ouvrage présente deux manière d'alimentation des moteurs pas à pas : avec deux tensions et par chopper. L'ouvrage se propose de determiner les grandeurs qui se trouvent à la base de la projection du convertiseur du moteur.

CD 621.3 : 621.317.7

TECHNIQUE DES HAUTE TENSION
DIVISEUR DE TENSION

Marinescu, A., Catană, Şt. : **Mesure numérique directe du rapport des diviseurs de haute tension.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 1, jan 1985, p. 44

Dans les laboratoires de haute tension et grande puissance tout comme aux mesures éxecutées dans les réseaux de haute tension s'impose la vérification opérative du rapport de division des diviseurs de haute tension. L'article présente un dispositif destiné à la mesure numérique directe du rapport, avec une précision de mesure de 0,5 %, et les résultats des expériments effectués.

TÎRGUL DE LA LEIPZIG

Republica Democrată Germană

10.—16.3. 1985

La Tîrgul internațional de la Leipzig . . . . . în centrul tuturor preocupărilor se află relațiile comerciale.

Avem o tradiție de 819 ani în domeniul Tîrgurilor . . . . ceea ce, astăzi, este foarte important pentru dv.

Leipzig vă oferă,
într-un singur loc și numai în șapte zile :

- **Tratative în domenii reprezentative ale industriei R. D. G.**
- **Contacte cu parteneri comerciali potențiali din întreaga lume, în domeniul care vă interesează.**
- **Informații asupra realizărilor de vîrf și asupra unor tehnologii de înaltă productivitate, în orice ramură industrială.**

Preocupările centrale în anul 1985 : eficiența producerii, valori, valorificare superioară și utilizare a materiilor prime, combustibililor, energiei.
Pentru comerț internațional și progres tehnic :
Nu uitați avantajele !
Nu uitați Leipzig-ul !

Invitații pentru tîrg și informații puteți obține la ONT Carpați sau la Reprezentanța comercială a Ambasadei R.D.G. în R. S. România, str. Dumbrava Roșie nr. 4, București.
ONT Carpați organizează călătorii pentru grupe de experți cu participare gratuită la conferințele de specialitate și la vizitarea Tîrgului, cu ghizi specializați.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA
ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI DE MAŞINI-UNELTE, ELECTROTEHNICĂ ŞI ELECTRONICĂ

Electrotehnica nr. 1

CZ 621.318 : 621.313

METODA ELEMENTELOR FINITE
CARACTERISTICĂ DE MAGNETIZARE
TURBOGENERATOR

Utilizarea metodei elementelor finite cu realizarea automată a conexiunilor reţelei pentru calculul caracteristicii de magnetizare a unui turbogenerator

ANDREI NICOLAIDE* — BRAŞOV

Introducere

În lucrările anterioare [1,2] s-a prezentat un procedeu de aplicare a metodei elementelor finite cu executarea automată a conexiunilor reţelei.

În lucrarea de faţă metoda va fi aplicată la un caz care prezintă importanţă în practică şi anume la calculul caracteristicilor de magnetizare ale maşinilor electrice rotative. S-a ales cazul unui turbogenerator deoarece acesta este cazul în care metodele uzuale de calcul, unde se utilizează aproximarea liniilor de cîmp, nu sînt suficient fundamentate.

S-a adoptat un exemplu de calcul care are un circuit magnetic relativ complicat şi care este dat în literatură [3], unde este calculat detaliat. Calculele din literatură sînt efectuate printr-o metodă de aproximare a repartiţiei liniilor de cîmp magnetic şi a tuburilor de flux.

1. Metode pentru calculul circuitului magnetic al maşinilor electrice

Pentru calculul circuitului magnetic al maşinilor electrice este mult extinsă utilizarea metodelor în care se admit anumite aproximaţii referitoare la forma liniilor de cîmp magnetic. În unele din aceste metode se utilizează mai multe tuburi de flux magnetic. Aceste metode dau în general rezultate care concordă satisfăcător cu rezultatele experimentale. Dar, nefiind suficient fundamentate, nu prezintă destulă siguranţă, ceea ce este un inconvenient serios, în special în cazul maşinilor de putere mare. De aceea s-au căutat metode mai precise, care vor fi expuse în cele ce urmează.

Studii mai precise asupra cîmpului magnetic în maşinile electrice au fost efectuate de multă vreme şi în mod minuţios de Th. Lehmann prin metoda grafică. Aceste studii au permis să se stabilească rezultate foarte utile în calculele de proiectare. Totuşi, datorită dificultăţilor de aplicare, utilizarea directă a metodei grafice nu s-a extins la calculul maşinilor electrice rotative.

Metoda diferenţelor finite, cu ajutorul calculatoarelor electronice numerice, a permis un calcul numeric cu o precizie mult mai mare al circuitelor magnetice ale maşinilor electrice rotative. Dar metoda cuprinde dificultăţi datorate necesităţii de construire a reţelei cu ochiuri de o anumită formă, a condiţiilor de frontieră care trebuie impuse la trecerea de la un mediu la altul şi într-o mai mică măsură, la rezolvarea sistemului de ecuaţii. De aceea, se poate spune

* Prof. dr. ing. *Nicolaide, A.* — Universitatea din Braşov.

că utilizarea directă a metodei diferențelor finite nu s-a extins prea mult la calculul mașinilor electrice rotative.

Metoda elementelor finite permite de asemenea un calcul numeric cu o precizie mare al circuitelor magnetice ale mașinilor electrice rotative. Față de metoda diferențelor finite nu are inconvenientul de a necesita punerea condițiilor de frontieră la trecerea de la un mediu la altul și nu impune restricții la forma ochiurilor rețelei. Dificultățile metodei constau, în primul rînd, în construirea rețelei și apoi, totuși în mai mică măsură, în rezolvarea sistemului de ecuații.

Metoda are astfel posibilități mai mari de a deveni un mijloc eficient în calculul și optimizarea circuitului magnetic al mașinilor electrice rotative.

În literatura electrotehnică se dau, referitor la diferitele metode, indicații de calcul destul de precise pentru a le putea utiliza. În schimb, referitor la metoda elementelor finite, deși se dau studii teoretice foarte extinse nu se dau indicații suficient de precise pentru aplicații efective, iar problemele cele mai dificile în practică sînt de multe ori evitate în expuneri. Există programe nepublicate ale unor întreprinderi, care sînt de multe ori complicate sau aplicabile numai pentru anumite tipuri de probleme.

În lucrarea de față se urmărește să se aducă o contribuție la aplicarea practică a metodei.

Scopul lucrării este de a verifica eficiența procedeului de aplicare a metodei elementelor finite descrise anterior [1] și de a constata ce diferențe există între rezultatele care se obțin prin metoda elementelor finite și rezultatele obținute prin metoda aproximării tuburilor de flux [3]. Nu se cunosc în literatură comparații între rezultatele obținute prin metoda elementelor finite și prin metode aproximative mai simple. În acest fel se poate răspunde la întrebarea dacă prin metoda elementelor finite se obțin rezultate care diferă mult de metodele mai simple, dar mai puțin precise, și dacă metoda este utilă pentru optimizarea circuitului magnetic al mașinii.

De asemenea, se urmărește să se stabilească eficiența metodei ținînd seama de posibilitățile actuale și de perspectivă ale sistemelor de prelucrare automată a datelor.

Se prezintă unele precizări utile referitoare la aplicarea metodei, atunci cînd este necesar să se reunească într-una singură două rețele, de exemplu în cazul unei mașini rotative rețeaua de pe stator cu rețeaua de pe rotor, în întrefier, ceea ce reprezintă una dintre problemele considerate dificile.

2. Calculul caracteristicii de magnetizare a unui turbogenerator

În cadrul acestei lucrări s-a efectuat calculul caracteristicii de magnetizare a unui turbogenerator cu următoarele date nominale: $S_N = 12\,000$ kVA, $\cos\varphi_N = 0{,}70$, $U_l = 6\,300$V, $n = 3\,000$ rot/min, $f = 50$ Hz. Datele constructive sînt prezentate în lucrarea [3], în care calculul caracteristicii de magnetizare a turbogeneratorului a fost efectuat printr-o metodă aproximativă în care se admit anumite simplificări referitoare la forma liniilor de cîmp magnetic.

Calculul caracteristicii de magnetizare se va efectua prin metoda elementelor finite.

2.1. Metoda de calcul

S-a utilizat procedeul descris în [1], cu precizările expuse în continuare.

Programul utilizat anterior [1] este valabil atît pentru cîmpuri electrice, cît și pentru cîmpuri magnetice staționare bidimensionale.

În cazul cîmpului magnetic cvasistaționar se obține:

$$\operatorname{rot} \bar{H} = \bar{J},$$

$$\operatorname{rot} \frac{\bar{B}}{\mu} = \bar{J}.$$

Dacă se introduce potențialul vector rezultă:

$$\bar{B} = \operatorname{rot} \bar{A},$$

$$\operatorname{rot} \left(\frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \bar{A} \right) = \bar{J}.$$

Pentru fiecare element al domeniului permeabilitatea magnetică este constantă și se obține astfel:

$$-\frac{1}{\mu} \nabla^2 \bar{A} + \frac{1}{\mu} \operatorname{grad} \operatorname{div} \bar{A} = J.$$

În regim cvasistaţionar se poate adopta $\operatorname{div} \bar{A} = 0$. Rezultă:

$$-\frac{1}{\mu}\nabla^2\bar{A} = \bar{J}.$$

În cazul cîmpului bidimensional, cu planul de simetrie xOy, deoarece $\bar{B} = \operatorname{rot} \bar{A}$, dar $B_z = 0$, rezultă că vectorul $\bar{A}$ are componentă numai după axa Oz şi se poate scrie $\bar{A} = \bar{k}\, A_z$. Rezultă:

$$-\frac{1}{\mu}\nabla^2 A_z = J_z,$$

deci, o ecuaţie de aceeaşi formă ca şi în cazul cîmpului electric staţionar.

Inducţia magnetică este dată de relaţia:

$$\bar{B} = \bar{i}B_x + \bar{j}B_y = \bar{i}\frac{\partial A_z}{\partial y} - \bar{j}\frac{\partial A_z}{\partial x}.$$

Programul anterior din [1] poate fi deci utilizat atît pentru cîmpuri electrice, cît şi pentru cîmpuri magnetice în regim cvasistaţionar.

Pentru aplicarea metodei elementelor finite se va utiliza programul descris în [1].

3. Programul de calcul

S-a utilizat un program de calcul, întocmit de autor, în limbaj FORTRAN. Programul se bazează pe procedeul dezvoltat anterior de autor în [1].

3.1. Programul principal

Structura programului principal a fost descrisă şi ea în [1]. Este util să se facă următoarele precizări suplimentare. Dacă ecuaţia diferenţială este neliniară, ceea ce se întîmplă cînd permitivitatea electrică sau permeabilitatea magnetică a mediului depind de mărimile de stare ale cîmpului, este necesar să se determine şi valorile corespunzătoare ale permitivităţii, respectiv ale permeabilităţii.

Curbele de magnetizare pentru materialele feromagnetice ale statorului şi rotorului au fost date prin 24 puncte, iar aproximarea a fost făcută prin segmente de dreaptă.

Valorile permitivităţii, după două direcţii ale elementelor triunghiulare, sînt depozitate în masivele PERMX(IXY) şi PERMY(IXY).

Pentru rezolvarea sistemului de ecuaţii pentru valori date ale permitivităţii se utilizează metoda iterativă. Oprirea iteraţiilor este controlată prin eroarea medie relativă asupra membrului drept. Se consideră valoare de referinţă valoarea medie a membrului drept.

Pentru determinarea valorilor permitivităţii se utilizează de asemenea o metodă iterativă. In acest scop subprogramul SUBROUTINE SOLVE este apelat succesiv.

Dacă programul nu este la prima apelare a subprogramului SOLVE, atunci se compară soluţiile obţinute cu cele de la apelarea precedentă şi dacă abaterea este în limitele impuse, programul se încheie.

Dacă abaterea este mai mare, atunci se apelează din nou subprogramul SUBROUTINE TRSIST şi ulterior SUBROUTINE SOLVE. În subprogramul SUBROUTINE COEFTR, apelat de subprogramul TRSIST, se modifică la fiecare parcurgere, valoarea permitivităţii electrice, respectiv inversul permeabilităţii magnetice cu numărul de ordine IXY, în fiecare element, conform relaţiilor:

$$\text{PERMXX} = \text{FUNX(E)},$$

$$\text{PERMYY} = \text{FUNY(E)},$$

$$\text{PERMX(IXY)} = \text{PERMX(IXY)} + \text{OMP} * (\text{PERMXX} - \text{PERMX(IXY)}),$$

$$\text{PERMY(IXY)} = \text{PERMY(IXY)} + \text{OEP} * (\text{PERYY} - \text{PERMY(IXY)}),$$

unde OMP reprezintă un coeficient de subreaxare. Mărimea E reprezintă modulul vectorilor intensitate a cîmpului electric sau inducţie magnetică. La prima iteraţie se introduc valorile permitivităţii, considerînd mediul nesaturat, deci ca şi cum s-ar introduce OMP = = 1; la iteraţiile următoare se introduce OMP = 1.E − 2.

Se ţine seama că lungimile subdomeniilor, cu simetrie plan-paralelă, examinate nu sînt egale, de exemplu lungimea întrefierului este l_i, iar lungimea oţelului statorului $k_{Fe1}l_{Fe1}$. De aceea starea de saturaţie nu se calculează pentru valorile aparente ale inducţiei magnetice care rezultă considerînd domeniile de aceeaşi lungime, ci pentru valorile corectate ale inducţiei magnetice. De exemplu, dacă pentru un subdomeniu al statorului (de exemplu pentru dinte) valoarea aparentă a inducţiei magnetice este B_{a1}, valoarea corectată este $(l_i/k_{Fe1}l_{Fe1})B_{a1}$.

Este interesant de menţionat că o abatere pe poziţia a 4-a zecimală a valorii potenţia-

lelor conduce la abateri de ordinul a 30% asupra valorii medii a membrului drept la unele ecuații.

3.2. Subprogramul SUBROUTINE DOMAIN

Subprogramul SUBROUTINE DOMAIN este cel mai complicat, deoarece trebuie introduse punctele prin care se definește conturul, zonele de separație ale domeniului și nodurile. Uneori poate apărea necesitatea conectării unor subdomenii. În cadrul procedeului utilizat există trei posibilități de a realiza această conexiune, după cum se poate vedea în figura 1 și anume: fie introducînd triunghiuri suplimentare la capete (fig. 1 a), fie introducînd

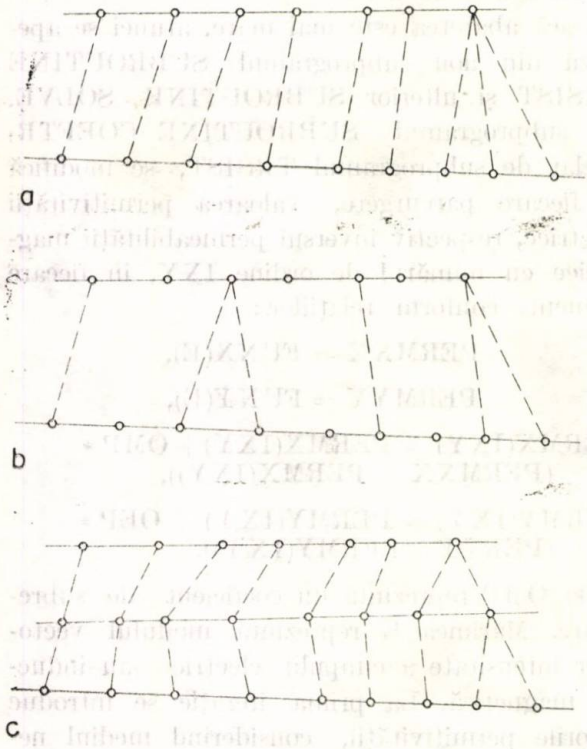


Fig. 1. Procedee de conectare a unor subdomenii.

linii intermediare (fig. 1 c), sau, în plus, mulțimile de puncte de pe cele două baze trebuie subîmpărțite în submulțimi de numere cardinale cît mai apropiate, pentru a nu fi necesare prea multe linii intermediare și pentru a realiza o distribuție cît mai uniformă a elementelor (fig. 1b).

Pentru a descrie domeniul, secțiunea transversală a mașinii a fost împărțită în zone. Fiecare zonă reprezintă un anumit dinte, crestătură sau parte de jug. Apoi, fiecare zonă a fost împărțită în subdomenii. Fiecare zonă a fost considerată într-o anumită poziție față de axa de referință verticală (axa ordonatelor), obținînd astfel zone de referință cu numărul de ordine ID de la 1 la 47. Punctele (nodurile) care definesc subdomeniile au fost introduse prin formule utilizînd relațiile trigonometrice. Aceste relații, deși simple în principiu, trebuie scrise cu deosebită atenție, pentru a evita erori la introducerea datelor.

Zonele reale ale mașinii au fost obținute prin deplasarea zonelor de referință succesiv cu unghiurile impuse de simetria repetată a figurii. Unde nu există simetrie și anume între porțiunea de dinte rotoric, care delimitează o crestătură nebobinată, și porțiunea de dinte rotoric, care delimitează o crestătură bobinată, s-a introdus o corectare impusă de această tranziție. Din motive de simetrie a configurației este suficient să se considere o jumătate de pas polar.

În figura 2 se poate vedea o secțiune transversală a mașinii și subdomeniile utilizate. Configurația cuprinde domenii numerotate de la 48 la 431.

În figurile 3 — 16 se pot vedea zonele cu subdomeniile de referință. Săgețile arată în ce ordine sînt luate liniile de diviziune în concordanță cu notațiile din lucrarea [1].

S-au utilizat 384 subdomenii cu un număr diferit de elemente; în total rețeaua rezultantă are 1 318 elemente triunghiulare și 701 noduri.

În întrefier, apare problema conectării rețelei de elemente finite ale statorului cu rețeaua de elemente finite ale rotorului, deoarece numărul de puncte de pe periferia rotorului și statorului dinspre întrefier sînt diferite.

S-a utilizat metoda din figura 1c, care este în concordanță cu procedeul expus anterior în [1] și care permite o distribuție mai uniformă a elementelor. S-a divizat mulțimea punctelor de pe periferiile statorului și rotorului în submulțimi de cîte 7 puncte periferice ale rotorului și statorului.

Punctele de frontieră și condițiile de frontieră s-au introdus direct. Condițiile de frontieră se introduc ținînd seama de configurația examinată. Astfel: a — pe axa verticală și pe circumferința exterioară, componenta normală a inducției magnetice este nulă, deci potențialul vector este constant și s-a introdus $A = 0$; b — pe porțiunea de frontieră de pe axa orizontală componenta tangențială a inducției magnetice este nulă, deci derivata după normală a funcției A este nulă și s-a introdus $\frac{\partial A}{\partial n} = 0$.

3.3. Subprogramul SUBROUTINE VERIF

S-a introdus acest subprogram pentru a verifica dacă nodurile subdomeniilor sînt corect introduse. În acest scop se verifică dacă fiecare nod al unui subdomeniu coincide fie cu un nod al unui alt subdomeniu, fie cu un punct de pe frontiera domeniului. Pentru a lua în considerație eventualele erori de trunchiere la calcule și a evita de a nu fi recunoscută coincidența a două puncte, se admite o abatere, dar foarte mică, între coordonatele nodurilor care au ace-

eași poziție, dar sînt calculate ca aparținînd unor subdomenii diferite.

3.4. Subprogramul SUBROUTINE NUMN

Ca și la subprogramul anterior, pentru a lua în considerație eventualele erori de trunchiere la calcule și a evita ca să nu fie recunoscută coincidența a două puncte, se admite o abatere, dar foarte mică, între coordonatele nodurilor care au aceeași poziție, dar sînt calculate ca aparținînd unor domenii diferite.

3.5. Subprogramul SUBROUTINE SOLVE

S-a utilizat metoda iterativă Gauss-Seidel.

S-a adoptat coeficientul de suprarelaxare OM = 1,98.

3.6. Calculul fluxului magnetic

Pentru calculul fluxului magnetic rezultant s-a utilizat diferența dintre valoarea potențialului-vector în punctul de pe frontieră unde are valoarea zero și punctul de pe frontieră unde are valoarea maximă, în cazul de față nodul cu numărul de ordine IVN = 620, determinat prin numerele de ordine ID = 415, IL = 2, IC = 1 din figura 2 în concordanță cu notațiile din lucrarea [1].

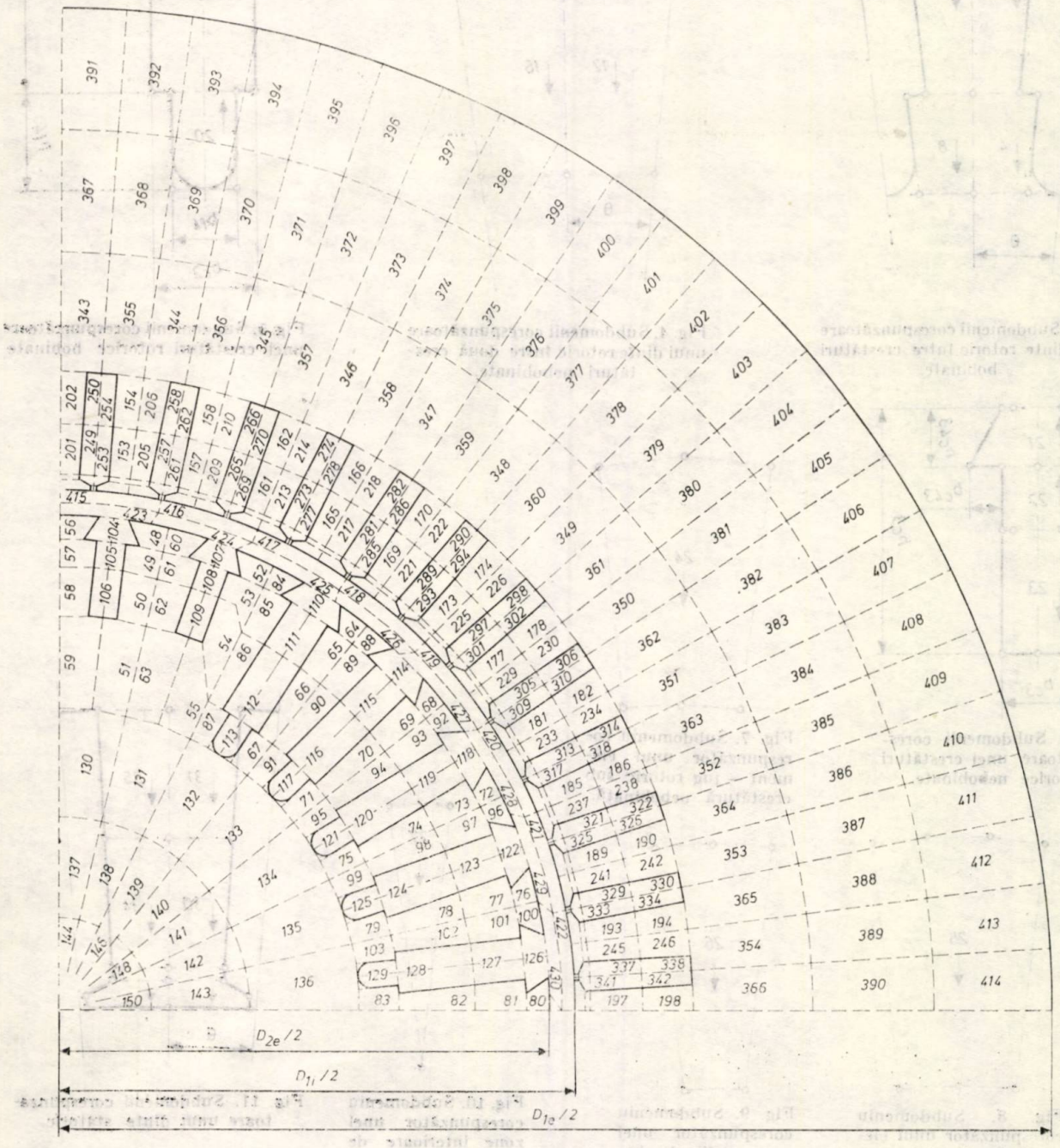


Fig. 2. Secțiune transversală prin turbogenerator.

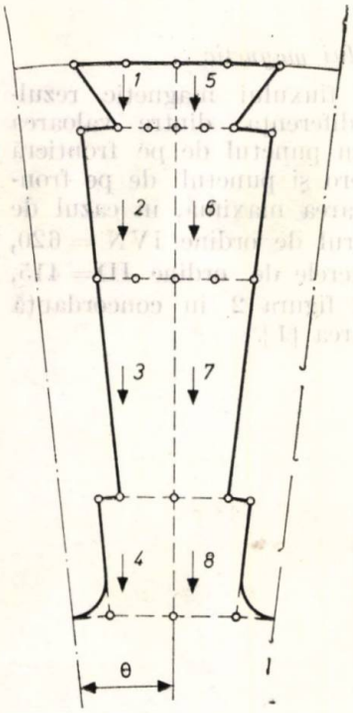


Fig. 3. Subdomenii corespunzătoare unui dinte rotoric între crestături bobinate.

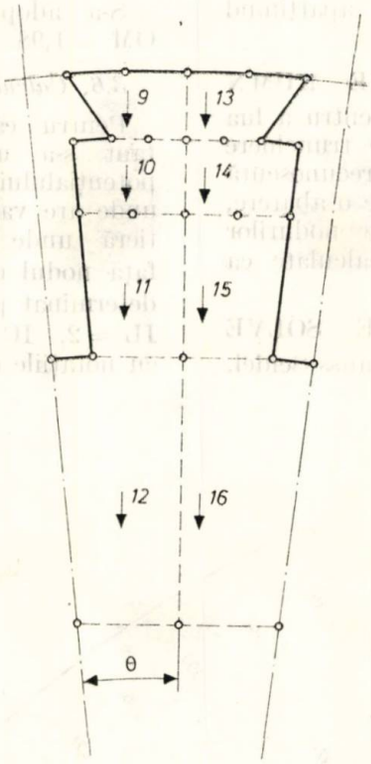


Fig. 4. Subdomenii corespunzătoare unui dinte rotoric între două crestături nebobinate.

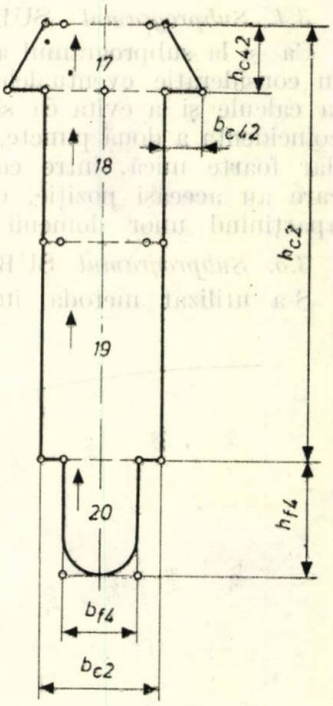


Fig. 5. Subdomenii corespunzătoare unei crestături rotorice bobinate.

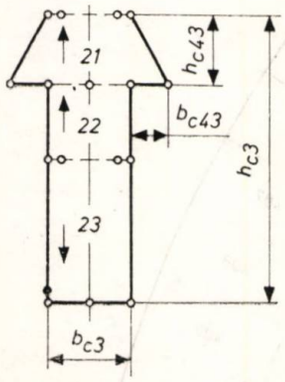


Fig. 6. Subdomenii corespunzătoare unei crestături rotorice nebobinate.

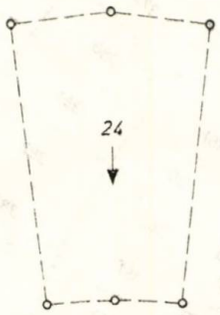


Fig. 7. Subdomeniu corespunzător unui element — jug rotoric sub crestătură nebobinată.

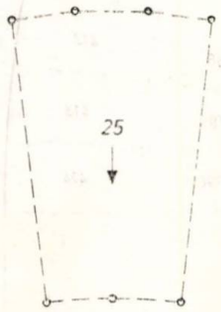


Fig. 8. Subdomeniu corespunzător unui element — jug rotoric sub crestătură bobinată.

Fig. 9. Subdomeniu corespunzător unei zone medii de jug rotoric.

Fig. 10. Subdomeniu corespunzător unei zone interioare de jug rotoric.

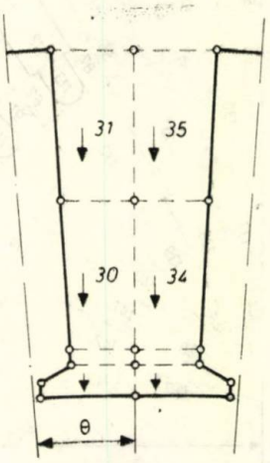


Fig. 11. Subdomenii corespunzătoare unui dinte statoric.

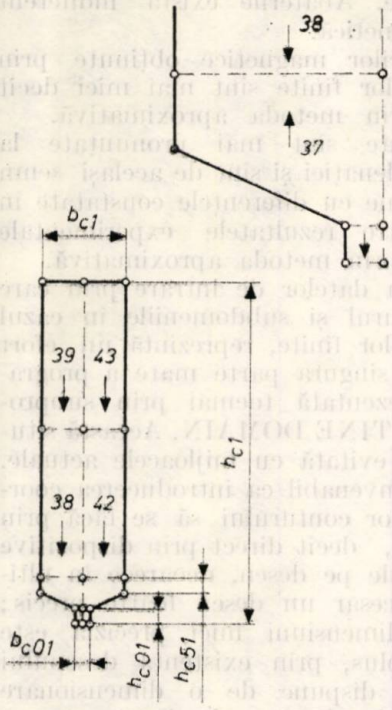


Fig. 12. Subdomenii corespunzătoare unei crestături statorice.

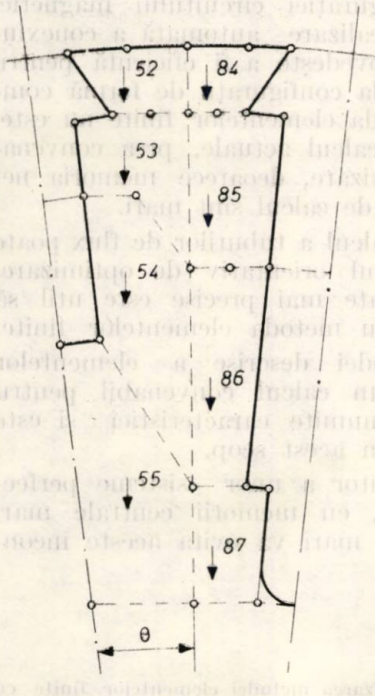


Fig. 14. Zonă de tranziție dintre subdomeniile cu și fără bobine.

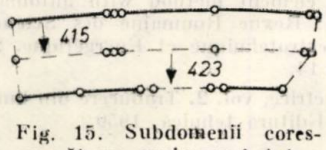


Fig. 15. Subdomenii corespunzătoare unei zone de întrefier.

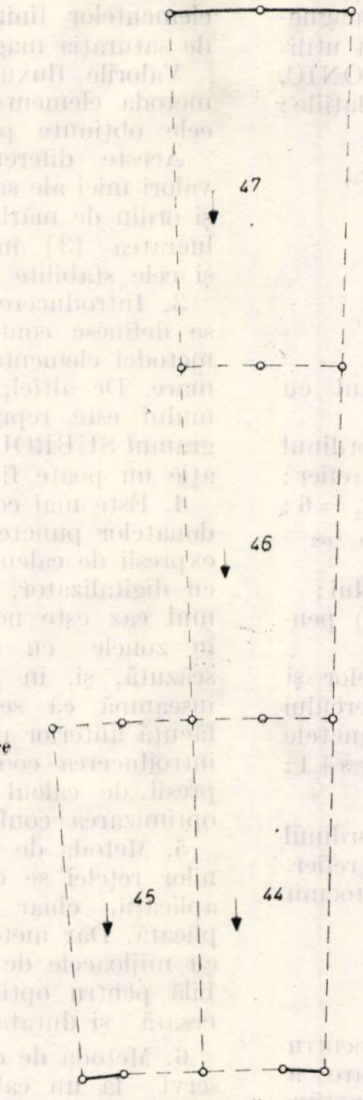


Fig. 13. Subdomenii corespunzătoare unor elemente de jug statoric.

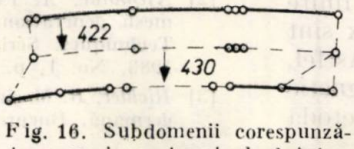


Fig. 16. Subdomenii corespunzătoare unei zone terminale de întrefier.

Tabelul 1

Rezultatele obținute prin metoda elementelor finite și prin metoda aproximativă a tuburilor de flux pentru calculul caracteristicii de magnetizare a turbogeneratorului

1 — Metoda aproximativă cu tuburi de flux
2 — Metoda elementelor finite

	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
F	14 250	14 250	17 900	17 900	21 780	21 780	26 300	26 300	32 530	32 530	44 500	44 500	72 680	72 680
Φ	0,6060	0,5230	0,7580	0,6563	0,9100	0,8011	1,0600	0,9641	1,2100	1,1698	1,3620	1,2925	1,5150	1,4827
B_δ	0,4600	0,3909	0,5000	0,4887	0,6000	0,5974	0,7000	0,7207	0,8000	0,8702	0,9000	0,9270	1,0000	1,0268
$B'_{d1\,max}$	0,9000	0,8256	1,1200	1,0323	1,3450	1,2609	1,5700	1,5222	1,7950	1,8395	2,0200	1,9605	2,2450	2,1690
B_{j1}	0,7686	0,6539	0,9600	0,8194	1,1500	0,1001	1,3450	1,2054	1,5350	1,4629	1,7300	1,6025	1,9200	1,8171
$B'_{d2\,max}$	0,9330	0,8348	1,1680	1,0440	1,4000	1,2765	1,6380	1,5391	1,8750	1,8588	2,1300	1,9881	2,4600	2,2323
B_{j2}	0,6530	0,5461	0,8160	0,6845	0,9800	0,8366	1,1400	1,0067	1,3050	1,2232	1,4750	1,3595	1,6600	1,5648
$B_{\delta1}$	0,3965	0,3692	0,4960	0,4624	0,5970	0,5653	0,6960	0,6807	0,8000	0,8236	0,9120	0,9018	1,0500	1,0246
$B_{\delta3}$	−0,0224	−0,0362	−0,0336	−0,0455	−0,0381	−0,5560	−0,0436	−0,0681	−0,0411	−0,0756	−0,0230	−0,0552	−0,0367	−0,0369
$B_{\delta5}$	−0,0082	−0,0031	−0,0163	−0,0038	−0,0115	−0,0046	−0,0108	−0,0058	−0,0080	−0,0090	0,0025	−0,0065	0,0260	0,0154
Ψ_1	0,5950	0,5408	0,7450	0,6767	0,895	0,8270	1,045	0,9958	1,200	1,2036	1,3700	1,3194	1,5790	1,4990

Pentru calculul armonicilor inducției magnetice și a fluxului magnetic în întrefier s-a utilizat subprogramul SUBROUTINE ARMONIC. În acest subprogram s-au utilizat relațiile:

$$B_\nu = \frac{4}{\tau} \sum_{i_D=i_{D1}}^{i_{D2}} \sum_{i=i_1}^{i_2} (A_s - A_{s+1}) \cos \nu \alpha_s,$$

$$\Phi_\nu = \frac{2}{\pi} \frac{\tau}{\nu} l_i B_\nu,$$

unde s-au folosit notațiile:

- A_s — potențialul-vector în punctul cu numărul de ordine s;
- B_ν — amplitudinea armonicii de ordinul ν a inducției magnetice din întrefier;
- i — indice egal cu IC, $i_1 = 1$, $i_2 = 6$;
- i_D — indice egal cu ID, $i_{D1} = 415$, $i_{D2} = 422$;
- l_i — lungimea ideală a întrefierului;
- s — indice egal cu IVN(ID, IL, IC) pentru IL = 2;
- α_s — unghiul dintre axa ordonatelor și dreapta care trece prin centrul cercului și mijlocul distanței dintre punctele cu numărul de ordine s, respectiv $s+1$;
- τ — lungimea pasului polar;
- Φ_ν — amplitudinea armonicii de ordinul ν a fluxului magnetic din întrefier.

Pentru efectuarea calculelor s-a întocmit un subprogram subrutină.

4. Rezultate

Au fost calculate valorile necesare pentru construcția caracteristicii de magnetizare a turbogeneratorului ale cărui date constructive sînt prezentate în lucrarea [3]. Rezultatele obținute prin metoda elementelor finite respectiv prin metoda tuburilor de flux din lucrarea [3] sînt date în tabelul 1. În tabel sînt date valori ale diferitelor mărimi necesare pentru a putea face comparația între cele două metode de calcul. Notațiile sînt asemănătoare cu cele utilizate în lucrarea [3].

5. Concluzii

1. Pentru calculul caracteristicii de magnetizare s-a utilizat un program de calcul, întocmit de autor, care cuprinde realizarea automată a conexiunilor rețelei.

2. Se constată că între rezultatele obținute prin metoda mai precisă a elementelor finite și metoda aproximativă a tuburilor de flux sînt diferențe dar nu exagerat de mari. Astfel, armonica fundamentală a fluxului magnetic în întrefier a rezultat ceva mai mică prin metoda elementelor finite. Abaterile există indiferent de saturația magnetică.

Valorile fluxurilor magnetice obținute prin metoda elementelor finite sînt mai mici decît cele obținute prin metoda aproximativă.

Aceste diferențe sînt mai pronunțate la valori mici ale solenației și sînt de același semn și ordin de mărime cu diferențele constatate în lucrarea [3] între rezultatele experimentale și cele stabilite prin metoda aproximativă.

3. Introducerea datelor de intrare prin care se definesc conturul și subdomeniile în cazul metodei elementelor finite, reprezintă un efort mare. De altfel, singura parte mare a programului este reprezentată tocmai prin subprogramul SUBROUTINE DOMAIN. Această situație nu poate fi evitată cu mijloacele actuale.

4. Este mai convenabil ca introducerea coordonatelor punctelor conturului să se facă prin expresii de calcul, decît direct prin dispozitive cu digitalizator, de pe desen, deoarece în ultimul caz este necesar un desen foarte precis; în zonele cu dimensiuni mici precizia este scăzută, și, în plus, prin existența desenului înseamnă că se dispune de o dimensionare făcută anterior prin alte metode. De asemenea, introducerea coordonatelor punctelor prin expresii de calcul este mai convenabilă pentru optimizarea configurației circuitului magnetic.

5. Metoda de realizare automată a conexiunilor rețelei se dovedește a fi eficientă pentru aplicații, chiar la configurații de formă complicată. Dar metoda elementelor finite nu este, cu mijloacele de calcul actuale, prea convenabilă pentru optimizare, deoarece memoria necesară și durata de calcul sînt mari.

6. Metoda de calcul a tuburilor de flux poate servi la un calcul orientativ de optimizare, iar pentru rezultate mai precise este util să fie completată cu metoda elementelor finite.

Utilizarea metodei descrise a elementelor finite permite un calcul convenabil pentru verificarea unor anumite caracteristici și este foarte eficientă în acest scop.

Utilizarea în viitor a unor sisteme perfecționate de calcul, cu memorii centrale mari și viteze de lucru mari va evita aceste inconveniente.

Bibliografie

[1] *Nicolaide, A.* Utilizarea metodei elementelor finite cu realizarea automată a conexiunilor rețelei pentru rezolvarea problemelor de cîmp electromagnetic. In: E.E.A. Electrotehnica. **30**, nr. 5, 1982, p. 173 — 182.

[2] *Nicolaide, A.* Finite element method with automatic mesh generation. In: Revue Roumaine des Sciences Techniques. Série Électrotechnique et Énergétique, **28**, 1983, No. 1, p. 3 — 14.

[3] *Richter, R.* Mașini electrice, **vol. 2**. Traducere din limba germană. București, Editura tehnică, 1959.

CZ 621.311 : 621.369 : 63

CENTRALĂ SOLARĂ
CONCENTRARE
USCARE
AGRICULTURĂ

Centrală termică solară cu captatoare cilindro-parabolice destinată producerii de aer cald și apă caldă pentru procese de uscare și alte utilizări tehnologice

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, DOINA MORARU, OVIDIU BIZIM, MIRCEA STOIAN, DAN MACOVEANU, EUGENIU TOMA, CRISTIAN POPESCU* — BUCUREȘTI

Introducere

Necesitatea înlocuirii combustibililor fosili, pe cît posibil cu surse regenerabile de energie, devine tot mai pregnantă, pe măsura creșterii consumului de energie, pe de o parte, și a dispariției inevitabile a rezervelor de combustibil fosil, pe de altă parte. Dacă piața energetică prezintă fluctuații în ceea ce privește ratele de extracție și prețurile combustibililor, acestea sînt de conjunctură și nu pot schimba sensul evoluției raportului consum de energie — disponibilitate de combustibili fosili și nici nu pot amîna semnificativ momentul dispariției acestora.

Politica energetică a țării noastre este consecventă în a acorda importanța cuvenită surselor regenerabile de energie între care, cu rol precumpănitor, energiei solare, deja utilizată pe scară largă pentru producerea energiei termice de joasă și medie temperatură cu performanțe economice competitive cu sursele de energie convenționale. Ținînd seama de caracterul intermitent al radiației solare și de variația sa atît diurnă, cît și sezonieră, s-a acordat o atenție deosebită aplicațiilor în care consumul de energie coincide în timp cu perioada de însorire. Este vorba, în primul rînd, de producerea de apă caldă de consum, utilizată în special în timpul zilei, iar dintre utilizările industriale, de procesele de uscare și de tehnologiile legate de prelucrarea și conservarea produselor agricole, inclusiv de producerea frigului, necesare în special în timpul verii.

Dacă pentru producerea apei calde de consum, captatoarele solare plane satisfac atît

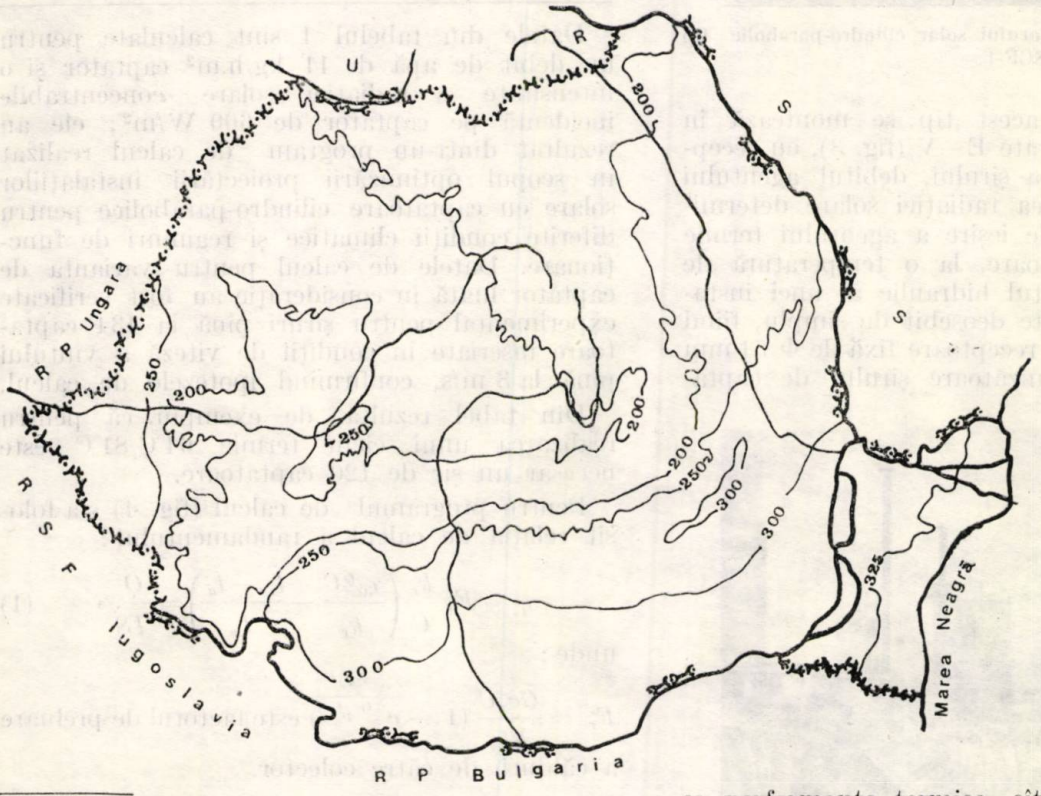


Fig. 1. Energia medie anuală (kWh/m². an) produsă de captatorul solar tip CSCF-1, la temperatura medie de 80°C, în diferite zone ale țării.

ca performanțe termice, cît și economice condițiile cerute, pentru utilizări industriale se pune problema obținerii unor temperaturi mai ridicate ale agentului termic (60 — 150°C), care se pot atinge, la costuri competitive

* Dr. ing. *Tănăsescu, Fl. T.*, dr. fiz. *Moraru, D.*, pr. *Bizim, O.* — Institutul de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică (ICPE) — București; ing. *Stoian, M.*, ing. *Macoveanu, D.* — Institutul de studii și proiectări energetice (ISPE) București; dr. fiz. *Toma E.* și ing. *Popescu, C.* — ICPE — București.

ale energiei cu sursele convenționale, numai cu captatoare solare cu concentrare joasă și medie.

Promovarea fabricației de captatoare cilindro-parabolice în România, în scopul mai sus menționat, a ținut seama de condițiile climatice specifice și de aportul energetic potențial al acestui tip de captator, în diferite regiuni ale țării.

În figura 1 este reprezentat aportul energetic anual mediu pentru captatorul tip CSCF-1, omologat de ICPE în 1981 [1], figura 2. Acest captator, cu orientare E—V, are un factor de concentrare energetică mediu ($C = 5$), putînd capta nu numai radiația solară directă, ci parțial și radiația solară difuză.

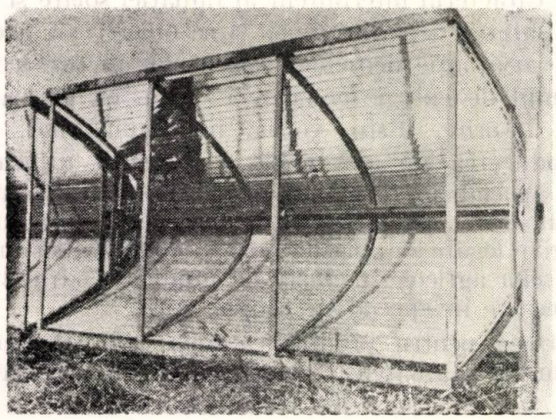


Fig. 2. Vedere a captatorului solar cilindro-parabolic tip CSCF-1.

Captatoarele de acest tip se montează în serie, în șiruri orientate E—V (fig. 3), cu receptor comun, lungimea șirului, debitul agentului termic și intensitatea radiației solare determinînd temperatura de ieșire a agentului termic din șirul de captatoare, la o temperatură de intrare dată. Circuitul hidraulic al unei instalații de acest tip este deosebit de simplu, fiind constituit din țeava receptoare fixă de Φ 51 mm și lungimea corespunzătoare șirului de captatoare. Asigurarea cantității de căldură cerută de consumator se realizează prin legarea în paralel a unui număr corespunzător de șiruri de captatoare.

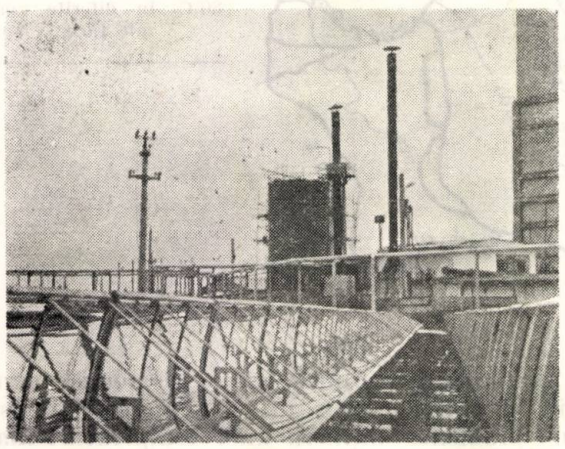


Fig. 3. Vedere a unui șir de captatoare cilindro-parabolice tip CSCF și a acumulatorului de căldură.

În tabelul 1 este prezentată, pentru exemplificare, variația temperaturii de ieșire a apei dintr-un șir de captatoare CSCF-1 la temperatura de intrare (20°C), în funcție de numărul de captatoare din șir, pentru varianta în care tubul receptor este acoperit cu o vopsea neagră absorbantă a radiației (coeficient de absorbție a radiației solare: 0,9) și nu este protejat contra pierderilor de căldură prin convecție și radiație.

Tabelul 1

Variația temperaturii de ieșire a agentului termic în funcție de numărul de captatoare înseriate

Număr captatoare	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Temperatura de ieșire	27	35	42	48	54	59	64	69	73	77	81
Număr captatoare	360	390	420	450	480	510	540	570	600		
Temperatura de ieșire	84	87	89	92	94	96	98	100	101		

Datele din tabelul 1 sînt calculate pentru un debit de apă de 11 kg/h.m² captator și o intensitate a radiației solare concentrabile incidentă pe captator de 600 W/m²; ele au rezultat dintr-un program de calcul realizat în scopul optimizării proiectării instalațiilor solare cu captatoare cilindro-parabolice pentru diferite condiții climatice și regimuri de funcționare. Datele de calcul pentru varianta de captator luată în considerație au fost verificate experimental pentru șiruri pînă la 134 captatoare înseriate în condiții de viteză a vîntului pînă la 3 m/s, confirmînd ipotezele de calcul.

Din tabel rezultă, de exemplu, că pentru realizarea unui ciclu termic 64°C/81°C este necesar un șir de 120 captatoare.

Pentru programul de calcul (fig. 4) s-a folosit relația de calcul a randamentului:

$$\eta_i = F_r \frac{k_r}{C}\left(\frac{\eta_0 \beta C}{k_r} - \frac{t_i - t_a}{I_n}\right) = \frac{Q}{IS}, \qquad (1)$$

unde:

$F_r = \frac{Gc_pC}{Sk_r}\left(1 - e^{-\frac{Sk_rF'}{Gc_pC}}\right)$ este factorul de preluare a căldurii de către colector.

Relația randamentului devine:

$$\eta_i = \frac{Gc_p}{S}\left(1 - e^{-\frac{Sk_rF'}{Gc_pC}}\right)\left(\frac{\eta_0 \beta C}{k_r} - \frac{t_i - t_a}{I_n}\right), \qquad (2)$$

unde :

G este debitul de apă, $\frac{kg}{h}$;

$c_p = 4\,187\left(\frac{J}{kg°C}\right) = 1{,}163\left(\frac{Wh}{kg°C}\right)$ — căldura specifică a fluidului;

S — suprafața de captare, m^2;

$F' = 0{,}85 - 0{,}95$ — factor de randament al colectorului;

C — factor geometric de concentrare;

$k_r = k_r$ convectiv + k_r radiativ — factor de pierderi termice;

k_r convectiv — factor de pierderi termice prin convecție, $W/m^2\,°C$;

k radiativ $= \varepsilon_0 C_0 \left[\left(\frac{1{,}1\,t_f + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_a + 273}{100}\right)^4\right] \frac{1}{1{,}1\,t_f - t_a}$ — factor de pierderi termice prin radiație, $W/m^2\,°C$;

$\varepsilon_0 = 0{,}91$ — coeficient de emisivitate;

$C_0 = 5{,}67$, $W/m^2\,°K^4$;

t_a — temperatura aerului, °C;

$t_f = \frac{t_i + t_e}{2}$, °C — temperatura medie a fluidului;

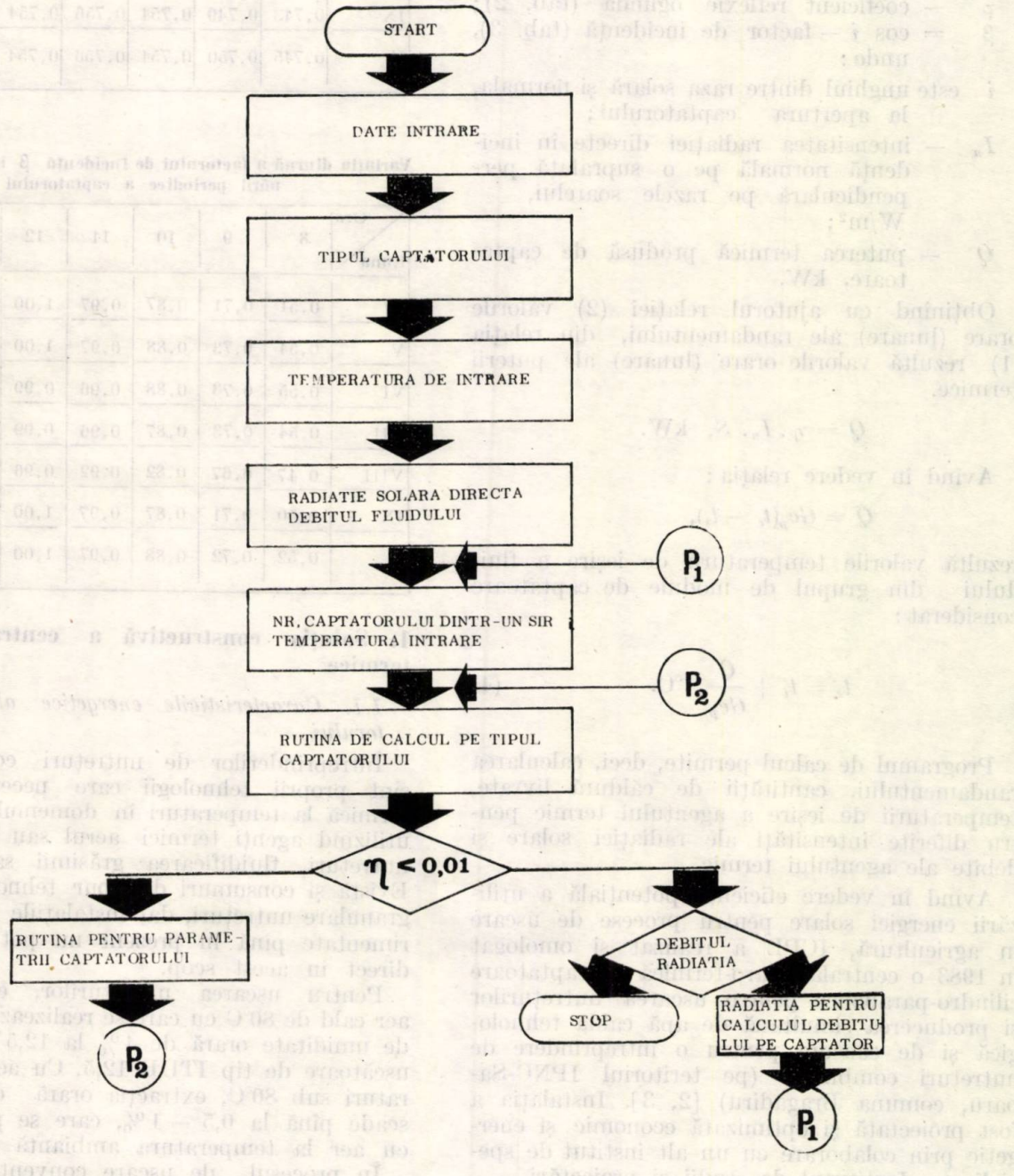


Fig. 4. Schema logică a programului de calcul pentru instalația solară cu captatoare cilindro-parabolice.

t_i — temperatura de intrare a fluidului,°C;
t_e — temperatura de ieşire a fluidului, °C.

Valorile t_i şi t_e rezultă prin calcul iterativ, avînd în vedere că temperatura de ieşire dintr-un captator este temperatura de intrare pentru următorul, deci:

$$t_{e_{n-1}} = t_{i_n}.$$

$\eta_0 = \alpha\rho\gamma$ — randamentul optic,

unde:

γ este factor de intercepţie $= 0{,}8$;
α — coeficient absorbţie receptor $(= 0{,}9)$;
ρ — coeficient reflexie oglindă (tab. 2);
β $= \cos i$ — factor de incidenţă (tab. 3), unde:
i este unghiul dintre raza solară şi normala, la apertura captatorului;
I_n — intensitatea radiaţiei directe în incidenţă normală pe o suprafaţă perpendiculară pe razele soarelui, W/m²;
Q — puterea termică produsă de captatoare, kW.

Obţinînd cu ajutorul relaţiei (2) valorile orare (lunare) ale randamentului, din relaţia (1) rezultă valorile orare (lunare) ale puterii termice.

$$Q = \eta \,.\, I_n.\, S, \text{ kW}.$$

Avînd în vedere relaţia:

$$Q = Gc_p(t_e - t_i),$$

rezultă valorile temperaturii de ieşire a fluidului din grupul de module de captatoare considerat:

$$t_e = t_i + \frac{Q}{Gc_p}, \text{ °C}. \qquad (4)$$

Programul de calcul permite, deci, calcularea randamentului, cantităţii de căldură livrate, temperaturii de ieşire a agentului termic pentru diferite intensităţi ale radiaţiei solare şi debite ale agentului termic.

Avînd în vedere eficienţa potenţială a utilizării energiei solare pentru procese de uscare în agricultură, ICPE a realizat şi omologat în 1983 o centrală solaro-termică cu captatoare cilindro-parabolice pentru uscarea nutreţurilor şi producerea simultană de apă caldă tehnologică şi de consum pentru o întreprindere de nutreţuri combinate (pe teritoriul IPNC-Sabaru, comuna Bragadiru) [2, 3]. Instalaţia a fost proiectată şi optimizată economic şi energetic prin colaborare cu un alt institut de specialitate, Institutul de studii şi proiectări energetice — Bucureşti.

Tabelul 2

Variaţia diurnă a coeficientului de reflexie a oglinzii ρ a captatorului în cazul poziţionării periodice (Bucureşti)

Luna \ Ora	9	10	11	12	13	14	15
IV	0,744	0,749	0,754	0,756	0,754	0,749	0,744
V	0,745	0,750	0,754	0,756	0,754	0,750	0,745
VI	0,745	0,750	0,753	0,755	0,753	0,750	0,745
VII	0,745	0,749	0,753	0,755	0,753	0,749	0,745
VIII	0,744	0,748	0,751	0,753	0,751	0,748	0,744
IX	0,743	0,749	0,754	0,756	0,754	0,749	0,743
X	0,745	0,750	0,754	0,756	0,754	0,750	0,745

Tabelul 3

Variaţia diurnă a factorului de incidenţă β în cazul poziţionării periodice a captatorului

Luna \ Ora	8	9	10	11	12	13	14	15
IV	0,51	0,71	0,87	0,97	1,00	0,97	0,87	0,71
V	0,54	0,73	0,88	0,97	1,00	0,97	0,88	0,79
VI	0,55	0,73	0,88	0,96	0,99	0,96	0,88	0,73
VII	0,54	0,73	0,87	0,96	0,99	0,06	0,87	0,73
VIII	0,47	0,67	0,82	0,92	0,96	0,92	0,82	0,67
IX	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00	0,97	0,87	0,71
X	0,52	0,72	0,88	0,97	1,00	0,97	0,88	0,72

1. Soluţia constructivă a centralei solaro-termice

1.1. Caracteristicile energetice ale consumatorului

Întreprinderilor de nutreţuri combinate le sînt proprii tehnologii care necesită energie termică la temperaturi în domeniul 65 — 80°C, utilizînd agenţi termici aerul sau apa (uscare nutreţuri, fluidificarea grăsimii sau melasei). Există şi consumuri de abur tehnologic pentru granulare nutreţuri, dar instalaţiile solare experimentate pînă în prezent nu pot fi utilizate direct în acest scop.

Pentru uscarea nutreţurilor, este necesar aer cald de 80°C cu care se realizează o extracţie de umiditate orară de 4% la 12,5 t nutreţ cu uscătoare de tip ITUB 12,5. Cu aer de temperaturi sub 80°C, extracţia orară de umiditate scade pînă la 0,5 — 1%, care se poate obţine cu aer la temperatura ambiantă (25 — 30°C).

În procesul de uscare convenţională uscătorul folosea motorină, cu un consum nominal

de 1,6 kg motorină pentru o tonă cereale × 1% umiditate extrasă și asigura uscarea prin amestec de aer și gaze arse.

Pentru procesul de fluidificare a grăsimilor, sînt necesare temperaturi de 53 — 55°C, nefiind acceptabilă depășirea temperaturii de 55°C, respectiv 60°C pentru agentul termic. Principalul consum de energie este pentru uscare, fiind intens în perioada iunie-august, pentru uscarea orzului și septembrie-decembrie pentru uscarea porumbului.

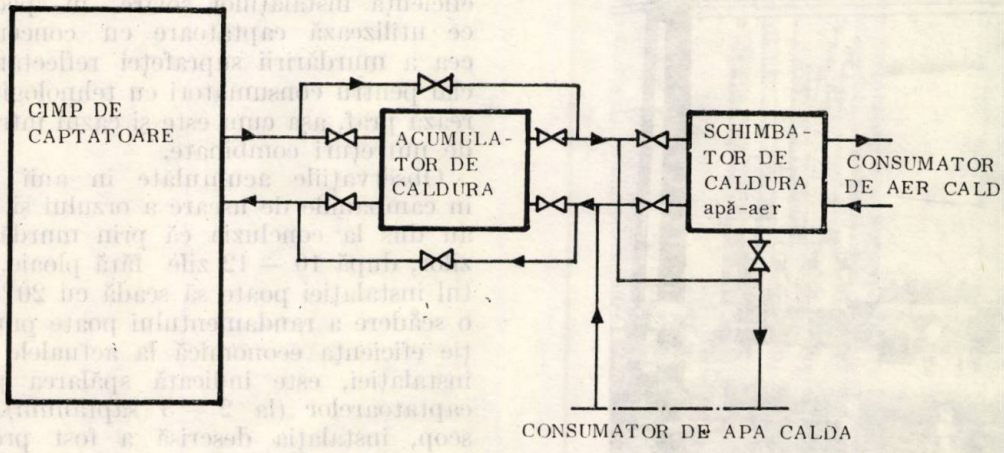


Fig. 5. Schema-bloc a centralei solaro-termice CSTC-1.

Topirea grăsimilor se face tot timpul anului, cu un consum de energie reprezentînd circa 1/3 din consumul pentru uscare.

În afară de consumurile tehnologice în întreprindere este necesară apă caldă de consum la temperaturi de 50°C (dușuri, cantină, laboratoare).

1.2. Descrierea instalației și rezultate experimentale

Ținînd seama de profilul tehnologic al consumatorului, centrala termică solară a fost concepută pentru producerea simultană de apă caldă și aer cald, cu schimbătoare de căldură apă-aer, apă-grăsimi și apă-apă.

Schema-bloc a centralei termice solare CSTC-1 este prezentată în figura 5, iar în figurile 6-8 sînt prezentate imagini ale cîmpului de captatoare și ale bateriei de încălzire a aerului, montate la gura de aspirație a ventilatorului uscătorului tip ITUB-12,5 de 31 000 m³/h.

Cîmpul de captatoare a fost conceput modulat, în șiruri de 90 de captatoare înseriate, care să permită realizarea ciclului termic 80°C/65°C în condiții de cer senin (la o intensitate a radiației solare directe 600 W/m²), la un debit de 10 kg/h·m² captator. Aceste șiruri de captatoare sînt legate în paralel prin intermediul unui colector-distribuitor, de la care se face racordarea la acumulatorul de căldură sau direct la consumator. Pentru experimentări și verificarea programului de calcul au fost realizate și alte moduri de legare ale captatoarelor, astfel încît să se realizeze lungimi de șiruri diferite.

Acumulatorul de căldură este constituit din două recipiente tip rezervor cilindric vertical BT, avînd diametrul $D = 4{,}6$ m, cu capacitate de 164 m³ fiecare; bateria de încălzire a aerului este de tip IUCAG-60.

Pentru caracterizarea instalației au fost prevăzute măsurători de temperaturi și debite, atît local, cît și prin intermediul unor traductoare conectate la instrumente indicatoare și înregistratoare în camera de comandă.

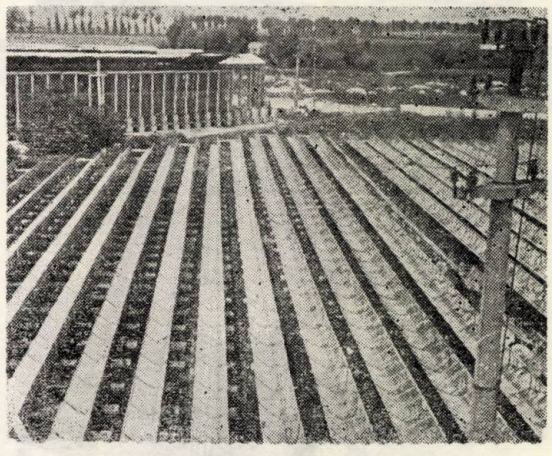


Fig. 6. Vedere a împului de captatoare al centralei solare CSTC-1.

Instalația funcționează în circuit închis, cu agent termic apa dedurizată, al cărei debit se poate regla în funcție de intensitatea radiației solare, dacă se dorește menținerea unei temperaturi constante a apei la ieșirea din cîmpul de captatoare.

Pentru utilizarea eficientă a instalațiilor solare este recomandabilă folosirea circuitului cîmp de captatoare — acumulator de căldură — consumator, care permite nu numai realizarea de randamente mai ridicate prin creș-

terea ecartului de temperatură a apei între intrarea și ieșirea din cîmpul de captatoare, dar și menținerea unui nivel de temperatură constant al agentului termic la consumator. Menținerea constantă a nivelului de temperatură a apei la ieșirea din acumulatorul de căldură către consumator a fost verificată experimental;

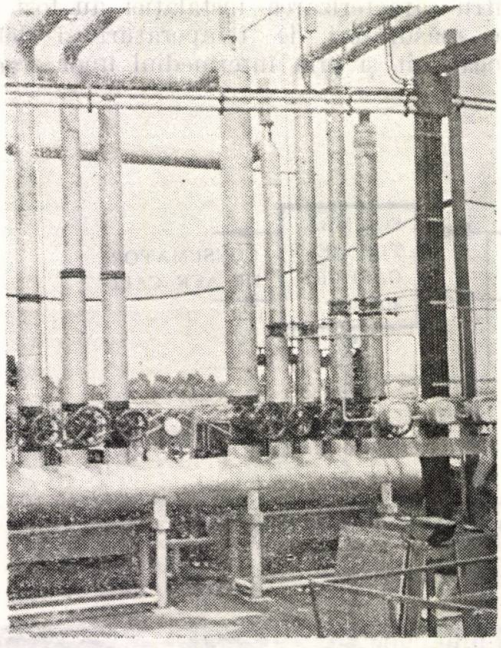


Fig. 7. Vedere a colectorului-distribuitor de apă caldă al cîmpului de captatoare.

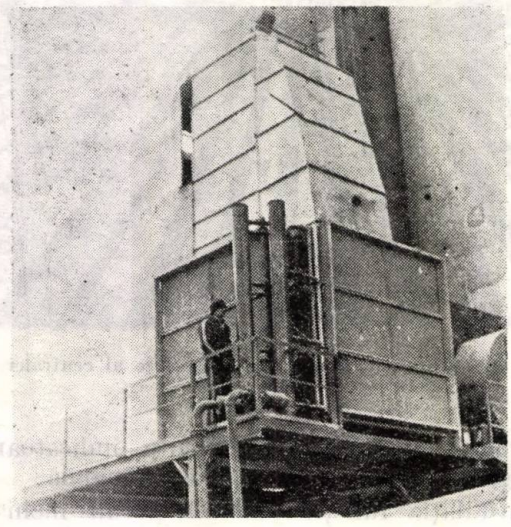


Fig. 8. Bateria schimbătoare de căldură apă-aer montată la gura de aspirație a ventilatorului uscătorului ITUB-12,5.

ea se datorează stratificării apei calde, astfel încît la partea superioară a acumulatorului, pe o înălțime de 6 — 7 m, măsurată de la suprafața superioară, temperatura apei, verificată, este practic constantă.

Acumularea a fost prevăzută în vederea asigurării consumului uscătorului pentru 10 — 12 ore în timpul nopții sau pe timp noros. Cu rezervoarele utilizate, stocarea se poate face și pe termen mai lung, ținînd seama că într-un interval de două luni (mai, iunie), temperatura apei în acumulatorul de căldură a scăzut de la 65°C la 45°C prin pierderi de căldură în mediul ambiant. Această acumulare este deosebit de utilă în situația în care au loc succesiuni mai lungi de perioade cu zile însorite sau întreruperi tehnologice ale consumului de energie.

O problemă foarte discutată în legătură cu eficiența instalațiilor solare, în special a celor ce utilizează captatoare cu concentrare, este cea a murdăririi suprafeței reflectante, în special pentru consumatori cu tehnologii care generează praf, așa cum este și cazul întreprinderilor de nutrețuri combinate.

Observațiile acumulate în anii 1983—1984 în campaniile de uscare a orzului și porumbului au dus la concluzia că prin murdărirea oglinzilor, după 10 — 12 zile fără ploaie, randamentul instalației poate să scadă cu 20%. Deoarece o scădere a randamentului poate pune în discuție eficiența economică la actualele costuri ale instalației, este indicată spălarea periodică a captatoarelor (la 2 — 3 săptămîni). În acest scop, instalația descrisă a fost prevăzută cu hidranți pe toată suprafața cîmpului de captatoare, astfel încît să se simplifice întreținerea acesteia.

Principalele caracteristici ale centralei termice solare CSTC-1 sînt următoarele:

— tipul de captator CSCF-1 (suprafața — —2 m², deschiderea — 1 m, suprafața din teren ocupată — 3,4 m²);

— suprafața de captare 2 500 m² (cu extindere în curs pînă la 3 000 m²);

— temperatura maximă a apei la debit de 10 kg/m² 85°C;

— temperatura maximă a aerului la intrarea în uscător: 70°C;

— aportul energetic la uscător într-o zi senină: 1,75 Gcal;

— aportul energetic anual la uscător: 350 Gcal;

— aportul energetic total anual: 800 Gcal (după extindere la 3 000 m²);

— economia anuală de combustibil: 150 t.c.c.;

— randamentul global mediu al instalației pentru producerea de aer cald pe zi senină: 20 — 22% (la intensitatea radiației solare directe normale de 550 — 600 W/m² și temperatura ambiantă de 25 — 30°C);

— randamentul mediu global al instalației în aceleași condiții, cu utilizarea acumulatorului de căldură: 30 — 35%;

— perioada de funcționare: aprilie-octombrie.

Variația temperaturii apei în timp la intrarea și la ieșirea din bateria de încălzire a aerului (cu alimentare directă de la cîmpul de capta-

toare) înregistrată într-o zi senină (radiație directă normală medie 600 W/m²), la un debit constant de 13 kg/h. m² captator, este prezentată în figura 9. În figura 10 este reprezentată variația determinată experimental a temperaturii aerului la intrarea în uscător, în funcție de temperatura medie a apei în bateria de încălzire. Măsurătorile efectuate în lunile iunie, iulie 1984, pe durata uscării orzului, au dus la concluzia că efectul colmatării schimbătorului de căldură cu praf nu este semnificativ. Problema rămîne însă în continuare în studiu.

Pentru situația în care instalația funcționează fără acumulator de căldură, temperatura aerului la intrarea în uscător este variabilă în cursul unei zile, așa cum rezultă din figurile 9 și 10. Chiar și în această situație aportul energetic

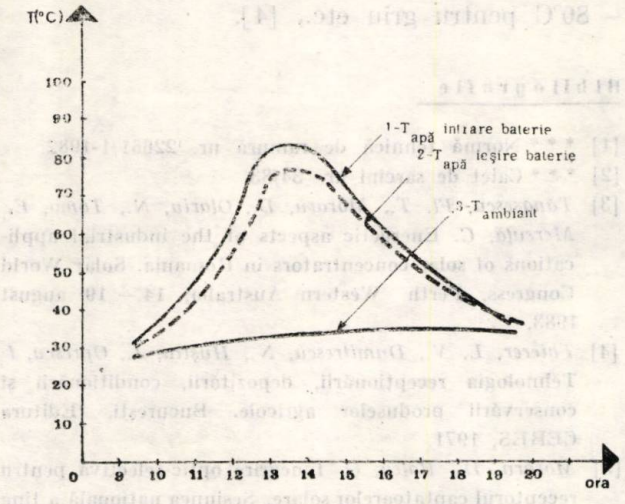


Fig. 9. Variația temperaturii de intrare (1) și de ieșire (2) a apei din schimbătorul de căldură apă-aer și variația temperaturii ambiante (3) într-o zi senină, în funcție de oră ($I_n \approx$ $\approx$ 600 W/m²).

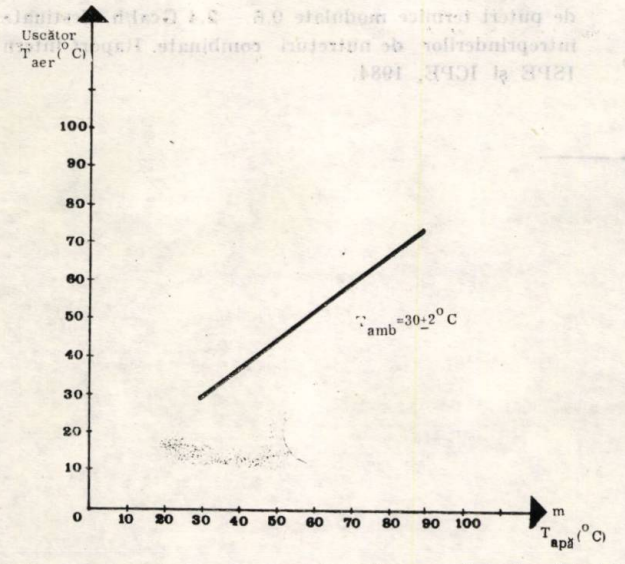


Fig. 10. Variația temperaturii de ieșire a aerului din schimbătorul de căldură apă-aer în funcție de temperatura medie a apei în schimbător.

este util, la temperaturi mai scăzute ale aerului crescînd însă durata de uscare a nutreturilor. În figura 11 este prezentată orientativ variația duratei de uscare în funcție de temperatura aerului, la același debit de aer și aceeași umidi-

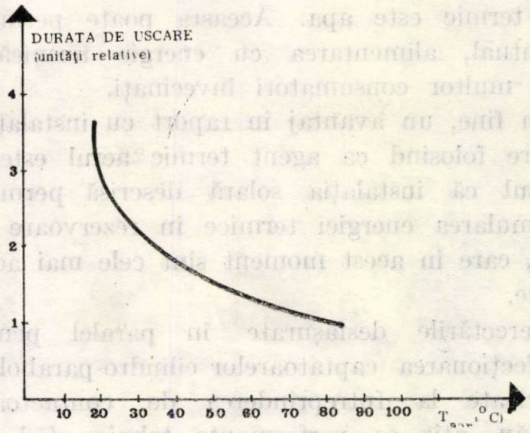


Fig. 11. Variația calculată a duratei de uscare în funcție de temperatura aerului.

tate inițială a produsului, calculată folosind diagrama Mollier [4].

2. Concluzii

Realizarea centralei termice solare cu captatoare cu concentrare a fost impusă de necesitatea înlocuirii combustibilului convențional, (motorina, în cazul discutat) cu energie solară pentru procese agro-industriale necesitînd energie termică la temperaturi pînă la 80°C pentru aer și pînă la 70 — 80°C pentru apă, în perioada aprilie-octombrie.

Experimentările efectuate au confirmat eficiența instalației solare pentru procese de uscare, permițînd realizarea în instalația descrisă a unor economii de motorină de cca 300 kg/zi senină și deci a unei economii de circa 50 t motorină anual, numai pentru uscare nutreturi.

Dacă instalația este folosită la sarcină nominală, deci și pentru procesele care utilizează ape calde, economia anuală de combustibil se poate ridica la cca 150 t.c.c.

Deoarece centrala termică solară este concepută modulat, utilizarea acestui tip de instalație poate fi generalizată și pentru consumatori cu alt profil energetic sau alte suprafețe disponibile la sol, pe acoperișuri sau pe pereți verticali orientați spre sud, astfel încît să permită înlocuirea parțială a consumului de combustibil convențional.

Un avantaj important al instalației solare de producere a aerului cald pentru uscări este aceea că evită total poluarea produselor uscate cu elemente ale arderii, care se produce la unele tipuri de uscătoare, cum sînt cele utilizate în

general de întreprinderile de nutreţuri combinate (ITUB—12,5).

Un alt avantaj al tipului de instalaţie descris este acela că poate fi amplasată la distanţă de consumatorul de aer cald, dat fiind că agentul termic este apa. Aceasta poate permite, eventual, alimentarea cu energie termică a mai multor consumatori învecinaţi.

În fine, un avantaj în raport cu instalaţiile solare folosind ca agent termic aerul este şi faptul că instalaţia solară descrisă permite, acumularea energiei termice în rezervoare cu apă, care în acest moment sînt cele mai accesibile.

Cercetările desfăşurate în paralel pentru perfecţionarea captatoarelor cilindro-parabolice, fabricate la Intreprinderea de contactoare-Buzău, atît ca performanţe tehnice [5], cît şi din punct de vedere al costului şi al simplităţii exploatării, fac posibilă realizarea unor instalaţii care să permită o recuperare a energiei înglobate în $2\frac{9}{12}$ ani faţă de maximul admis de 5 ani, o recuperare financiară prin economia de combustibil (pentru 2 574 lei/t.c.c.) de $10\frac{6}{12}$ ani, faţă de maximul admis, $12\frac{6}{12}$ ani, şi un preţ de cost al energiei livrate de circa 250 lei/Gcal faţă de maximum admis, 400 lei. De asemenea, temperaturile nominale ale apei pot fi ridicate la 90°C, iar cele ale aerului de 80°C [6].

Centrala termică solară tip CSTC-1 este destinată în primul rînd proceselor de uscare în agricultură, care necesită temperaturi în domeniul 40 — 80°C, precum şi consumatorilor de apă caldă tehnologică la temperaturi pînă la 90°C.

Performanţele atinse deja la centrala de pe teritoriul IPNC-Sabaru, confirmă eficienţa captatoarelor solare cilindro-parabolice şi în instalaţii de suprafaţă mare şi justifică utilizarea acestora pentru o gamă largă de consumatori, în special în agricultură şi industriile agroalimentare, cu deosebire pentru procese de uscare, pentru care temperaturile aerului, indicate ca optime, variază de la 40 — 55°C pentru fasole, 50 — 75°C pentru soia, 50 — 70°C pentru mazăre, 55 — 70°C pentru in, 55 — 65°C pentru orez, 80 — 90°C pentru porumb, 50 — 80°C pentru grîu etc., [4].

Bibliografie

[1] * * * Normă tehnică de ramură nr. 22661/1-1982.

[2] * * * Caiet de sarcini nr. 34/83.

[3] *Tănăsescu, Fl. T., Moraru, D., Olariu, N., Toma, E., Mereuţă, C.* Energetic aspects of the industrial applications of solar concentrators in Romania. Solar World Congress, Perth, Western Australia, 14 — 19 august 1983.

[4] *Thierer, L. V., Dumitrescu, N., Huştiu, I., Oprescu, I.* Tehnologia recepţionării, depozitării, condiţionării şi conservării produselor agricole. Bucureşti, Editura CERES, 1971.

[5] *Moraru, D., Balea, C.* Innegrire optic-selectivă pentru receptorul captatoarelor solare. Sesiunea naţională a tinerelor cercetători pe probleme de fizică şi domenii conexe, ediţia a IV-a, Măgurele, februarie 1984.

[6] *Moraru, D., Stoian, M.* Centrală solară termică industrială folosind captatoare cu concentrare orientate E—V de puteri termice modulate 0,6 — 2,4 Gcal/h, destinate întreprinderilor de nutreţuri combinate. Raport intern ISPE şi ICPE, 1984.

CZ 621.316 : 621.313.047

CONTACTE LINIARE
APARATE DE COMUTAȚIE DE C.C.

Un concept unitar asupra contactelor electrice

GHEORGHE HORTOPAN* — BUCUREȘTI

Teoria contactelor electrice este elaborată în lucrările clasice [1, 2, 3], pentru contactele punctiforme și cele de suprafață. Contactul liniar este mai puțin studiat. În literatură sînt date relații experimentale pentru calculul rezistenței electrice [4] și se fac referiri la încălzirea contactului liniar [5]. Contactele liniare joacă un rol important în construcția aparatelor electrice de comutație de curent continuu. Introducerea arcului electric în camera de stingere cu fantă îngustă reclamă un contact electric cît mai îngust. În acest scop se folosesc contacte liniare astfel încît intensitatea curentului, în regim nominal poate ajunge la 3 150 A pentru un contact nedivizat. Un exemplu de utilizare a contactului liniar este prezentat în figura 1, în care s-a schițat un întreruptor rapid de curent continuu.

În lucrarea de față autorul elaborează un concept teoretic asupra contactului liniar, care se integrează în teoria generală a contactelor, și care cuprinde și contactele punctiforme și de suprafață *3*.

1. Dimensiunile contactului liniar

Dimensiunile unui *contact punctiform* sînt date de relația:

$$\pi a^2 = \frac{F}{H}, \qquad (1)$$

unde a este raza cercului de contact, F—forța de apăsare, H — duritatea materialului. Cercul de rază a cuprinde toate micropunctele de contact [3]. Similar relației (1) se pot defini.

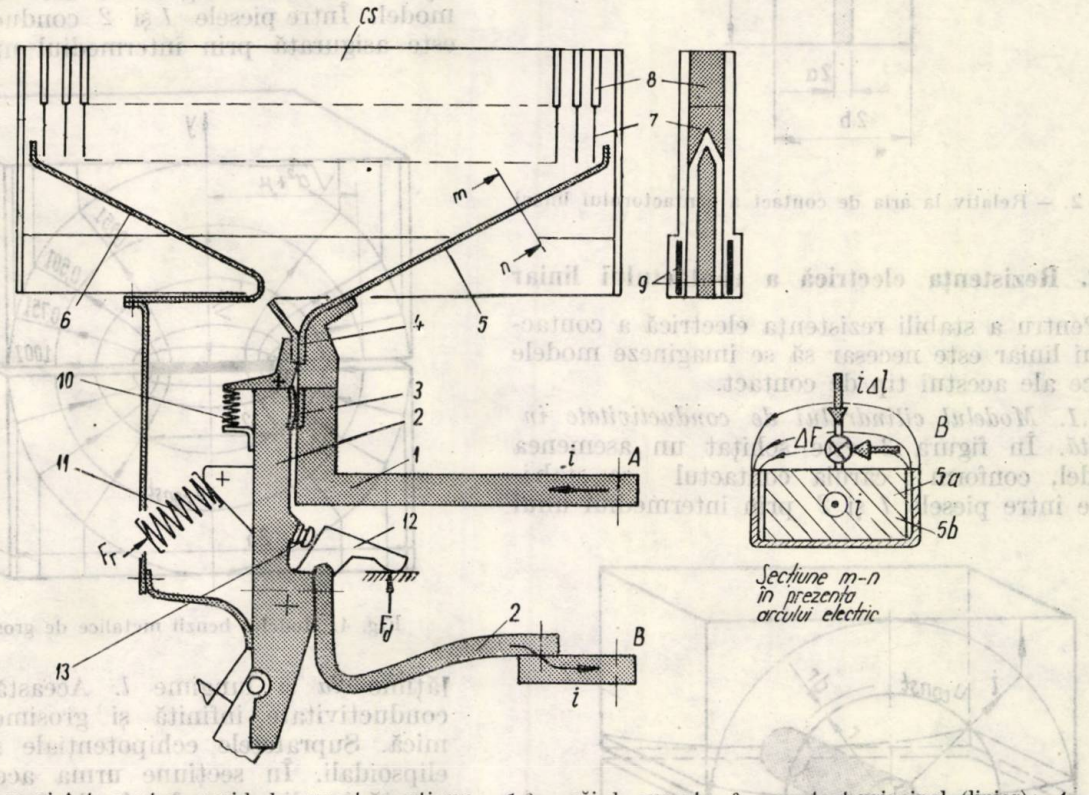


Fig. 1. Schița unui întreruptor rapid de curent continuu: *1,2* — căi de curent; *3* — contact principal (liniar); *4* — contact de rupere; *5,6* — rampe; *7* — plăci din oțel; *8* — pene izolante; *9* — plăci de oțel; *10*, *11* — resoarte; *12* — pîrghie de declanșare; *13* — piesă de reglaj; F_d — forța de declanșare; F_r — forța resortului care asigură presiunea pe contact.

Calea de curent este formată din conductoarele *1* și *2*. Contactul principal *3* (de durată) este *liniar*, contactul *4*, în paralel pe contactul *3* este destinat preluării arcului electric.

dimensiunile contactului liniar, schițat în figura 2, cu relația:

$$2al = \frac{F}{H}, \qquad (2)$$

* Prof. dr. doc. ing. *Hortopan, G.* — Institutul politehnic — București.

unde $2a$ și l sînt dimensiunile liniare ale contactului. Raza de r_c a cilindrului piesei 2, dacă se stabilizează în jurul unor dimensiuni convenabile ($r \approx 50$ mm) nu joacă un rol important în determinarea rezistenței de contact. Dreptunghiul de suprafață $2a \cdot l$ cuprinde toate micropunctele de contact.

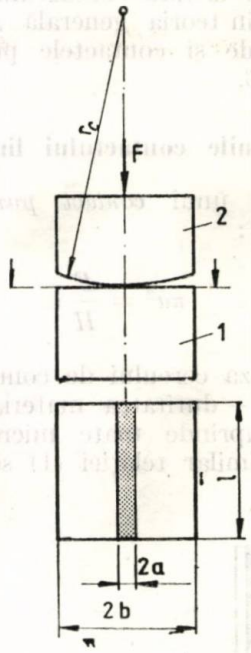


Fig. 2. — Relativ la aria de contact a contactorului linari

2. Rezistența electrică a contactului liniar

Pentru a stabili rezistența electrică a contactului liniar este necesar să se imagineze modele fizice ale acestui tip de contact.

2.1. Modelul cilindrului de conductivitate infinită. În figura 3 este schițat un asemenea model, conform căruia contactul se stabilește între piesele *1* și *2* prin intermediul unui cilindru de rază a și lungime l. Raza r_c a cilindrului, din care face parte piesa 2, fiind relativ mare, această piesă s-a asimilat cu un paralelipiped. Întrucît suprafețele echipotențiale sînt semicilindri, liniile de curent sînt ortogonale la acești cilindri. Rezistența electrică elementară într-o piesă de contact este:

$$dR_s = \frac{\rho}{\pi l} \cdot \frac{dr}{r}, \tag{3}$$

iar rezistența unei piese de contact rezultă:

$$R_s = \frac{\rho}{\pi l} \ln \cdot \frac{b}{a}. \tag{4}$$

Rezistența contactului electric este de două ori mai mare decît rezistența unei piese de contact. În plus, trebuie să se considere și rezistența peliculei distribuitoare în aria de contact și se obține:

$$R = \frac{2\rho}{\pi l} \ln \frac{b}{a} + \frac{R_{ss}}{2al}. \tag{5}$$

2.2. Modelul benzii de curent de grosime infinit mică. În figura 4 este schițat acest model. Între piesele *1* și *2* conducția electrică este asigurată prin intermediul unei benzi de

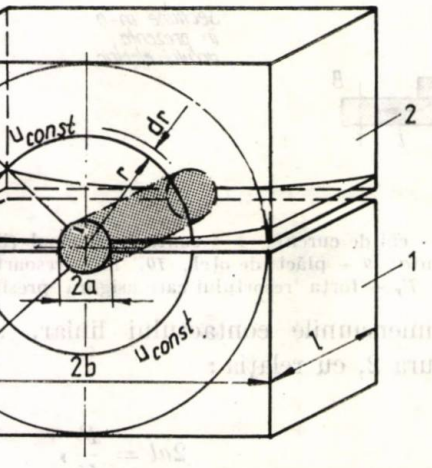


Fig. 3. Modelul cilindrului de conductivitate infinită.

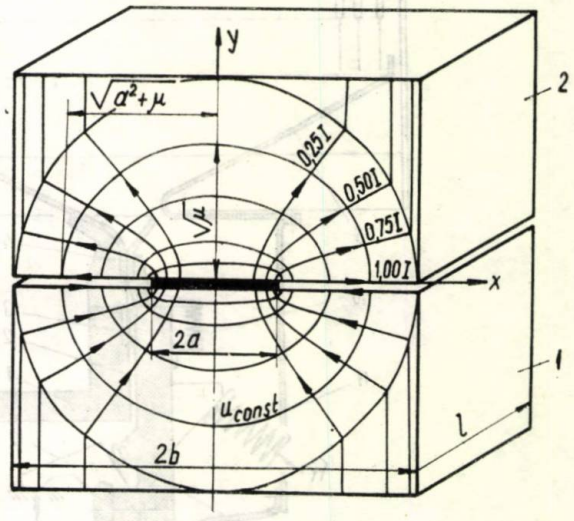


Fig. 4. Modelul benzii metalice de grosime mică.

lățime $2a$ și lungime l. Această bandă are conductivitate infinită și grosime extrem de mică. Suprafețele echipotențiale sînt cilindri elipsoidali. În secțiune urma acestor cilindri constă în elipse confocale de forma:

$$\frac{x^2}{a^2+\mu} + \frac{y^2}{\mu} = 1, \tag{6}$$

cu semiaxele $\sqrt{a^2+\mu}$ după direcția x și $\sqrt{\mu}$ după direcția y. În adevăr distanța focală (excentricitatea) elipselor este $e = \sqrt{a^2+\mu-\mu} = a$ și se conservă pentru orice valoare a

parametrului $\sqrt{\mu} \in (0, \sqrt{b^2 - a^2})$. Pînzele de curent sînt cilindri hiperloboidali, care în secţiune definesc elipse confocale de forma :

$$\frac{x^2}{a^2 + \mu} + \frac{y^2}{\mu} = 1 \qquad (7)$$

şi care îşi conservă excentricitatea $e = \sqrt{a^2 + \mu - \mu} = a$.

Pentru determinarea rezistenţei electrice a contactului se utilizează analogia (formală) care există între relaţiile ce descriu cîmpul electric într-un dielectric omogen neîncărcat şi relaţiile care descriu cîmpul electric într-un conductor omogen şi izotrop parcurs de curent continuu. Mărimile analoge sînt, în dielectric, capacitatea C şi permitivitatea ε, iar în conductor, conductanţa G şi conductivitatea σ ($C \to G$; $\varepsilon \to \sigma$).

Astfel, capacitatea între un cilindru elipsoidal, caracterizat prin parametrul $\mu \neq 0$, şi cilindrul elipsoidal turtit cu parametrul $\mu = 0$, care ia forma de bandă de lăţime $2a$ şi lungime l este :

$$C = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln[(\sqrt{a^2 + \mu} + \sqrt{\mu})/a]}, \qquad (8)$$

iar capacitatea care există între un semicilindru elipsoidal şi bandă este :

$$C_s = \frac{\pi\varepsilon l}{\ln[(\sqrt{a^2 + \mu} + \sqrt{\mu})/a]}, \qquad (9)$$

Revenind la analogia menţionată se poate scrie expresia conductanţei între un cilindru elipsoidal şi bandă :

$$G_s = \frac{\pi\sigma l}{\ln[(\sqrt{a^2 + \mu} + \sqrt{\mu})/a]}. \qquad (10)$$

Rezistenţa electrică corespunzătoare relaţiei (10) este :

$$R_s = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{a^2 + \mu} + \sqrt{\mu}}{a}. \qquad (11)$$

Rezistenţa contactului se obţine prin însumarea rezistenţelor celor două piese de contact şi are ca expresie :

$$R = 2R_s = \frac{2\rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{a^2 + \mu} + \sqrt{\mu}}{a}. \qquad (12)$$

Expresia (12) se referă la rezistenţa de stricţiune astfel încît, în aplicaţiile practice, este necesar să se ţină seama şi de rezistenţa peliculei formată pe suprafaţa de contact prin procesele de adsorbţie, chemisorbţie şi reacţie chimică. În final, expresia rezistenţei electrice a unui contact liniar ia forma :

$$R = \frac{2\rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{a^2 + \mu} + \sqrt{\mu}}{a} + \frac{R_{ss}}{2al}, \qquad (13)$$

unde R_{ss} este rezistenţa specifică superficială.

Notă. La expresia capacităţii dată de relaţia (8) se ajunge folosind metoda transformărilor conforme, ca în anexa 1.

3. Integrarea contactului liniar într-un concept unitar

La stabilirea unui contact electric se creează o stricţiune a liniilor de curent ca urmare a faptului că atingerea se realizează în micropuncte de contact. Dacă micropunctele sînt concentrate într-o singură zonă se realizează un *contact punctiform*. În tehnică, contactul punctiform este de formă circulară şi se obţine prin apăsarea unei piese sferice cu o rază de curbură $r_c \approx 20 \ldots 50$ mm pe o piesă plană. La *contactul liniar* micropunctele de contact sînt plasate într-o arie îngustă de formă dreptunghiulară. *Contactul plan* se realizează cu suprafeţe aparente cu cîteva ordine de mărime mai mari decît suprafeţele micropunctelor de contact. În toate cazurile deformarea micropunctelor de contact cuprinde zone centrale de deformare plastică înconjurate de zone de deformare elastică [3].

În tabelul 1 sînt grupate cele trei tipuri de contacte şi caracterizate unitar după mărimea

Tabelul 1

Rezistenţe de contact

contactul	punctiform		de suprafaţă	liniar	
modelul	sfera	elipsoidal	n elipsoizi	cilindric	bandă
aria A_c	$\pi a^2 = \frac{F}{H}$	$\pi a^2 = \frac{F}{H}$	$n\pi a^2 = \frac{F}{\xi H}$	$2al = \frac{F}{H}$	$2al = \frac{F}{H}$
rezistenţa R	$\frac{\rho}{\pi a} + \frac{R_{ss}}{\pi a^2}$	$\frac{\rho}{2a} + \frac{R_{ss}}{\pi a^2}$	$\frac{\rho}{2an} + \frac{R_{ss}}{n\pi a^2}$	$\frac{2\rho}{\pi l} \ln \frac{b}{a} + \frac{R_{ss}}{2al}$	$\frac{2\rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{a^2+\mu} + \sqrt{\mu}}{a} + \frac{R_{ss}}{2al}$
ρ_{Cu} ; H_{Ag} ; $R_{ssAg} = 1{,}12 \cdot 10^8 \rho^{2{,}2}$. Ωm^2 ; $\delta \approx 15 \text{Å}$					

ariei de contact și expresia rezistenței electrice. Contribuția nouă se referă la contactul liniar și este încadrată cu linie groasă.

4. Calcul și experimentare

S-au efectuat calcule și experimentări asupra unui contact liniar cu dimensiunile $2b = 26$ mm, $l = 22$ mm. Contactul este din cupru placat cu argint fin. Forța de apăsare a fost de 500 N pentru intensitatea nominală $I = 3\,150$ A. Lățimea benzii de contact se calculează cu relația (2):

$$a = \frac{500}{2.22.10^{-3} \cdot 5.10^{8}} = 2{,}2727.10^{-5} \text{ m}.$$

Semiaxa mare după direcția x este: $\sqrt{a^2 + \mu} = b = 13.10^{-3}$ m, rezultă semiaxa mică $\sqrt{\mu} = 12{,}999.10^{-3}$ m, după direcția y. Rezistența electrică se calculează cu relația (13) și ținînd seama de datele din tabelul 1:

$$R = \frac{2.1{,}8 \cdot 10^{-8}}{22 \cdot 10^{-3}} \ln \frac{13.10^{-3} + 12{,}99 \cdot 10^{-3}}{2{,}2727 \cdot 10^{-5}} + \frac{1{,}12 \cdot 10^{8} (15 \cdot 10^{-10})^{2{,}2}}{2 \cdot 2{,}2727 \cdot 10^{-5} \cdot 22 \cdot 10^{-3}},$$

$$R = 7{,}99945 \cdot 10^{-6}\ \Omega.$$

Rezistența electrică măsurată este $R = 6{,}5204 \cdot 10^{-6}$. Valoarea calculată este ceva mai mare (cu 23%) decît cea măsurată. Abaterea se datorează multor factori (delimitarea dimensiunilor cilindrilor elipsoidali, aprecierea grosimii peliculei disturbatoare), dar, pentru o problemă atît de dificilă, rezultatele obținute prin calcul justifică folosirea metodei în proiectare.

ANEXA 1

5. Capacitatea între cilindri elipsoidali confocali

Această temă de cîmp bidimensional se rezolvă prin metoda transformării conforme, descrisă în lucrările [6 și 7]. Dezvoltarea ce urmează se efectuează numai în scopul unificării notațiilor. Funcția $z(x + jy)$ și funcția $w(u + jv)$ sînt în dependență:

$$x + jy = e \cosh (u + jv). \tag{14}$$

Prin dezvoltarea $\cos h(u + jv) = \cos h\, u \cos v + j \sin h$ și identificarea părților reale și imaginare se obține:

$$\cos v = \frac{x}{e \cosh u}; \quad \sin v = \frac{y}{c \sinh u}. \tag{15}$$

Prin ridicare la pătrat și adunare rezultă:

$$\frac{x^2}{e^2 \cosh^2 u} + \frac{y^2}{e^2 \sinh^2 u} = 1. \tag{16}$$

Se observă că relația (16) reprezintă o formație de elipse confocale cu semiaxele $e \cos \cdot u$ și e sinhu și excentricitatea:

$$e = \sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{e^2 \cosh^2 u - e^2 \sin h^2 u}.$$

Dacă ecuația (14) se rezolvă în raport cu variabila u, prin procedeul menționat la (15) și (16) se obține:

$$\frac{x^2}{e^2 \cos^2 v} - \frac{y^2}{e^2 \sin^2 v} = 1, \tag{17}$$

ecuația unor hiperbole confocale de excentricitate e. În planul z, $u = \text{const}$ reprezintă potențial constant, $v = \text{const}$ reprezintă liniile de cîmp electric. Corespunzător transformării (14) în planul z suprafețele echipotențiale sînt elipse confocale, iar liniile de cîmp electric sînt hiperbole confocale de excentricitate (distanță focală) e.

Din relația (16) semiaxa elipsei *1* după direcția x este:

$$a_1 = e \cosh u_1$$

sau:

$$u_1 = \text{arc cosh} \frac{a_1}{e} = \ln \left[\frac{a_1}{e} + \sqrt{\left(\frac{a_1}{e}\right)^2 - 1} \right] = \ln \frac{a_1 + b_1}{e}, \tag{18}$$

unde b_1 este semiaxa după direcția y.

În mod similar, pentru elipsa *2* se obține:

$$u_2 = \ln \frac{a_2 + b_2}{e}. \tag{19}$$

Diferența de potențial între cele două elipse este:

$$U = u_1 - u_2 = \ln \frac{a_2 + b_2}{a_1 + b_1}. \tag{20}$$

Teorema lui Gauss echivalează fluxul electric cu sarcina electrică:

$$\varepsilon \int_{P_1}^{P_2} \mathbb{E}\, d\mathbb{A} = Q_{12}, \tag{21}$$

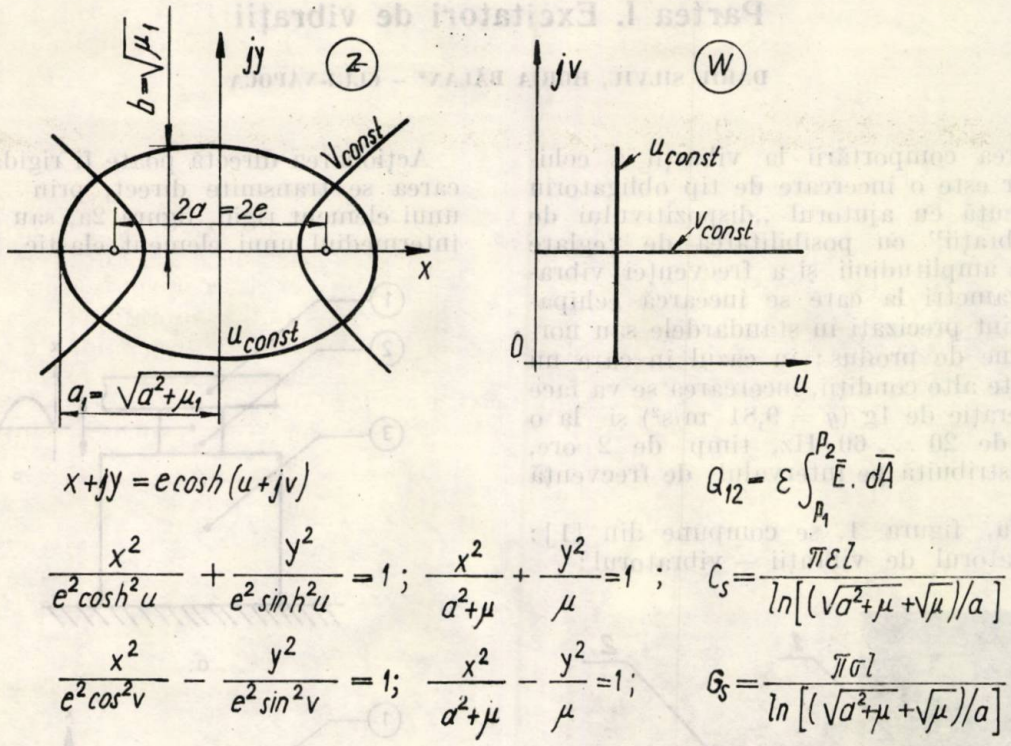
unde $d\mathbb{A} = ds.l$ și $\mathbb{E} = -\frac{\partial u}{\partial n}$. Din teoria transformărilor conforme $\frac{\partial u}{\partial n} = \frac{\partial v}{\partial s}$. Direcțiile n și s fiind normală, respectiv în lungul liniei s. Din relația (21) rezultă:

$$Q_{12} = -\varepsilon l \int_{P_1}^{P_2} \frac{\partial u}{\partial n} = ds = -\varepsilon l \int_{P_1}^{P_2} dv = -\varepsilon l (v_2 - v_1). \tag{22}$$

Din relaţiile (15), pentru $y = 0$, rezultă sin $v_1 = 0$ şi $v_2 = 0$, iar pentru $x = 0$ rezultă cos $v_2 = 0$ şi $v_2 = \frac{\pi}{2}$. Punctul *1* se află pe axa x, iar punctul *2* se află pe axa y, s-a parcurs astfel un cadran şi rezultă din (22) sarcina electrică $Q_{12} = -\varepsilon l\pi/2$. Pentru patru cadrane $Q_{12} = 2\varepsilon\pi l$. Capacitatea între doi cilindri elipsoidali confocali are ca expresie:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln[(a_2 + b_2)(a_1 + b_1)]}. \qquad (23)$$

Se adoptă notaţii simplificate pentru semiaxe: $a_2 = \sqrt{a + \mu_2}$; $b_2 = \sqrt{\mu_2}$; $a_1 = \sqrt{a + \mu_1}$; $b_1 = \sqrt{\mu_1}$. Pentru cilindrul de bază (turtit) $\mu_0 = 0$ se obţine astfel relaţia (8) avînd drept parametru mărimea μ. Figura 5 este explicativă la transformarea conformă $z = f(w)$.



$$x + jy = e\cosh(u + jv) \qquad Q_{12} = \varepsilon \int_{P_1}^{P_2} \bar{E}\,d\bar{A}$$

$$\frac{x^2}{e^2\cosh^2 u} + \frac{y^2}{e^2\sinh^2 u} = 1; \quad \frac{x^2}{a^2+\mu} + \frac{y^2}{\mu} = 1; \quad C_s = \frac{\pi\varepsilon l}{\ln[(\sqrt{a^2+\mu}+\sqrt{\mu})/a]}$$

$$\frac{x^2}{e^2\cos^2 v} - \frac{y^2}{e^2\sin^2 v} = 1; \quad \frac{x^2}{a^2+\mu} - \frac{y^2}{\mu} = 1; \quad G_s = \frac{\pi\sigma l}{\ln[(\sqrt{a^2+\mu}+\sqrt{\mu})/a]}$$

Fig. 5. Relativ la transformarea conformă $x + jy = e\cosh(u + jv)$.

Bibliografie

[1] *Holm, R.* Electric Contacts Theory and Application Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New-York, 1967.

[2] *Iohannet, P.* La mécanisme de vieillessement dans les contacts électriques et l'influence de l'echauffement sur leur durée de vie. In : E.d.F. Bul. B, nr. 4, 1971, p. 49 — — 136.

[3] *Hortopan G.* Aparate electrice. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1984.

[4] *Rziha, E.* Starkstromtechnik **Band II**, Ernst Sohn Berlin, 1960.

[5] *Fehling, H.* Über die Kontaktbeanspruchung an Schnell-Schaltern bei hohen Spizenstrom. AEG Mitt. 48, nr. 415, 1958, p. 231 — 238.

[6] *Kupfmüller, K.* Einführung in die theoretische Elektrotechnik Achte Auflage Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New-York, 1965.

[7] *Simonyi, K.* Theoretische Elektrotechnik, 7. Auflage VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin, 1979

CZ 621.317.7:621—752

Instalație pentru testarea la vibrații a echipamentelor

Partea I. Excitatori de vibrații

DARIE SILVIU, HORIA BĂLAN* — CLUJ-NAPOCA

Verificarea comportării la vibrații a echipamentelor este o încercare de tip obligatoriu ce se execută cu ajutorul „dispozitivului de produs vibrații" cu posibilitatea de reglare continuă a amplitudinii și a frecvenței vibrațiilor; parametri la care se încearcă echipamentele sînt precizați în standardele sau normele interne de produs; în cazul în care nu sînt indicate alte condiții, încercarea se va face la o accelerație de 1g ($g = 9{,}81$ m/s²) și la o frecvență de 20 ... 60 Hz, timp de 2 ore, uniform distribuită pe intervalul de frecvență [5].

Instalația, figura 1, se compune din [1]:
— excitatorul de vibrații — vibratorul;

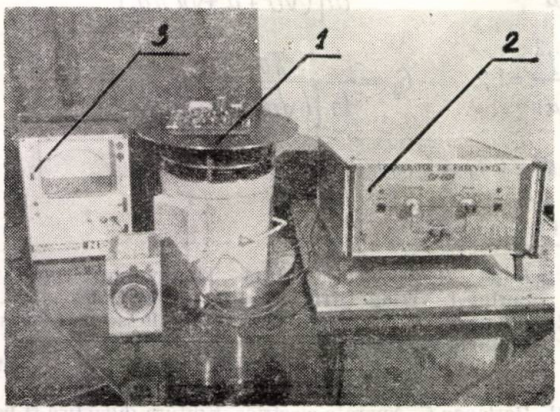


Fig. 1. Instalație pentru testarea la vibrații a echipamentelor: *1* — excitatorul de vibrații/vibratorul; *2* — generatorul de tensiune cu frecvență și tensiune variabile; *3* — vibrometrul.

— generatorul de tensiune cu frecvență și tensiune variabilă;
— sistemul de măsurare a frecvenței și amplitudinii oscilațiilor;
— sistemul de reglaj automat.

1. Excitatorul de vibrații — vibratorul

Vibratorul este sursa care produce oscilații mecanice de frecvență variabilă și amplitudine controlată.

Indiferent de principiul de funcționare al vibratoarelor, ele pot fi cu acționare directă sau cu acționare inerțială [1].

Acționarea directă poate fi rigidă, cînd mișcarea se transmite direct, prin intermediul unui element rigid, figura 2a, sau directă prin intermediul unui element elastic, figura 2 b.

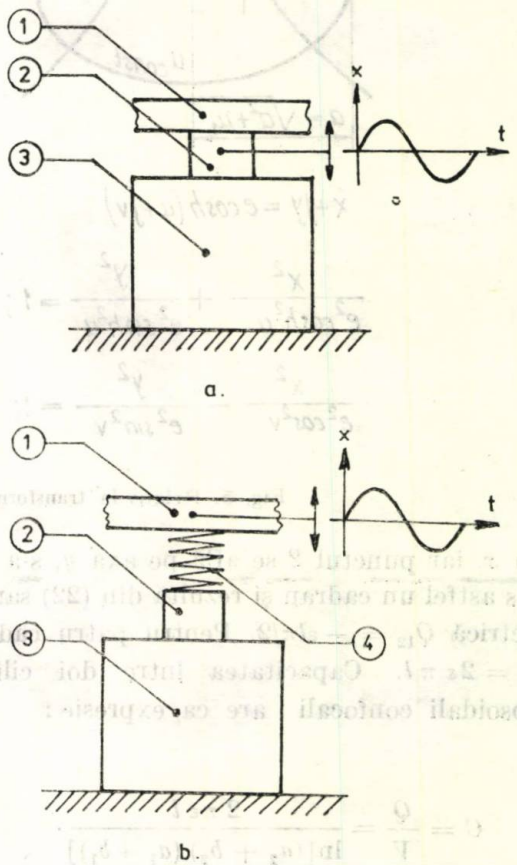


Fig. 2. Vibratoare cu acțiune directă: *a* — cu transmitere prin element rigid a mișcării; *b* — cu transmitere prin element elastic a mișcării; *1* — masă vibrantă; *2* — tije pentru transmiterea mișcării; *3* — vibrator/excitator de vibrații.

La acționarea prin element rigid, structura/echipament este solicitată de o forță armonică cu amplitudinea dependentă de pătratul frecvenței excitatoare:

$$F_1 = K_1 \cdot \omega^2 \cdot X_m \sin \omega \cdot t. \qquad (1)$$

În cazul acționării prin intermediul unui element elastic, structura este solicitată de o forță armonică cu amplitudinea independentă de frecvența excitatoare, cu condiția ca vibratorul să fie legat rigid de fundație:

$$F_2 = K_2 \cdot X_m \sin \cdot \omega t, \qquad (2)$$

* Conf. dr. ing. Darie, S., ing. Bălan, H. — Institutul politehnic, Facultatea de electrotehnică — Cluj-Napoca.

În cazul acționării inerțiale, figura 3, corpul vibratorului este fixat rigid de structura încercată, căreia îi transmite o forță de amplitudine constantă egală cu forța de inerție a masei m, fixată de tija mobilă a vibratorului, deci dependentă de frecvența excitatoare.

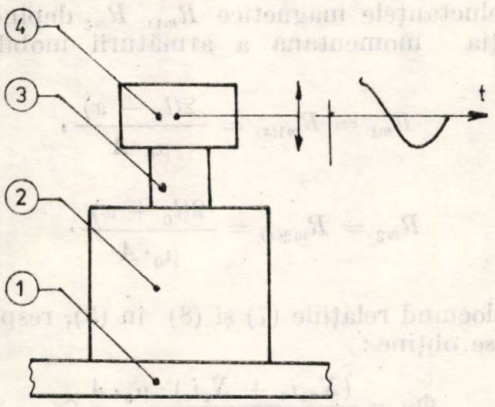


Fig. 3. Vibrator cu acționare inerțială: *1* — masă vibrantă; *2* — excitator de vibrație/vibratorul; *3* — tije pentru transmiterea mișcării; *4* — masa excitatoare de vibrații.

Avantajul utilizării vibratoarelor cu acționare inerțială constă în faptul că structura încercată nu intervine direct asupra elementului mobil modificîndu-i prin aceasta regimul de funcționare.

După principiul de funcționare, vibratoarele pot fi:

a — mecanice, cu element de acționare în translație (mecanism cu execentric și culisă), utilizat în practică la frecvențe sub 30 Hz și forțe de valori mijlocii (sub 700 N); cu mase excentrice în rotație, utilizat la forțe mari, între 400 și 20 000 N și la frecvențe, în general, sub 60 Hz.

Vibratoarele mecanice au dezavantajele legate de: reglarea dificilă a turației și amplitudinii (pentru reglarea amplitudinii vibrațiilor este necesară oprirea mașinii), construcție mecanică complicată, randamentul global scăzut;

b — hidraulice, utilizate la frecvențe joase (sub 150 Hz) și forțe mari (de obicei între 2 000 și 450 000 N); greutatea vibratorului este în general mică în raport cu forțele pe care le produce, în schimb instalația hidraulică de acționare este voluminoasă; forma de undă a mișcării pistonului de acționare prezintă distorsiuni;

c — electrodinamice, utilizate la frecvențe de lucru ridicate, de ordinul kHz (5 — 20 kHz), iar forțele pe care le dezvoltă sînt relativ mici (sub 30 000 N); au o rezistență mecanică mică la sarcini transversale față de direcția mișcării, necesită surse de putere relativ mari și grele, au o rezistență mică la suprasolicitări;

d — electromagnetice, recomandate la frecvențe joase (de la zeci de Hz la sute de Hz) și la forțe mari, comparabile cu cele produse de vibratoarele mecanice; față de cele mecanice prezintă avantajul robusteței ridicate, avînd durată de viață mult mai mare, iar reglajul se poate face fin și continuu din alimentarea prin intermediul unui convertor static de frecvență [1, 4, 5].

În procesul de testare la vibrații a echipamentelor (conform normelor CIE, STAS etc.), plaja de frecvență care acoperă cerințele impuse este de (5 ... 100 Hz), iar amplitudinea vibrațiilor între (0,5 ... 3 mm).

În cadrul laboratorului de aparate electrice al Institutului politehnic Cluj-Napoca există preocupări în domeniul proiectării, experimentării și realizării de instalații pentru testarea la vibrații [1, 2, 3, 4, 5, 6].

În lucrarea [6] s-au prezentat cîteva tipuri de vibratoare electromagnetice, proiectate și experimentate de autori, precum și ecuațiile de funcționare ale acestora.

Lucrarea prezintă un vibrator electromagnetic care constă dintr-o mașină liniară cu mișcare alternativă (oscilantă), proiectat și realizat de autori, figura 4. La baza principiului de funcționare a oscilomotorului, realizat de autori, a stat lucrarea [7].

Literatura de specialitate cuprinde o mare varietate de tipuri de vibratoare electromagnetice [8 ... 17], aspecte ale analizei regimurilor de funcționare, aspecte ale proiectării [18 ... 27].

Pentru instalația de testare la vibrații autorii, pe baza bibliografiei analizate și a experienței dobîndite, au ajuns la concluzia că vibratorul electromagnetic prezentat în figura 4 corespunde cerințelor impuse.

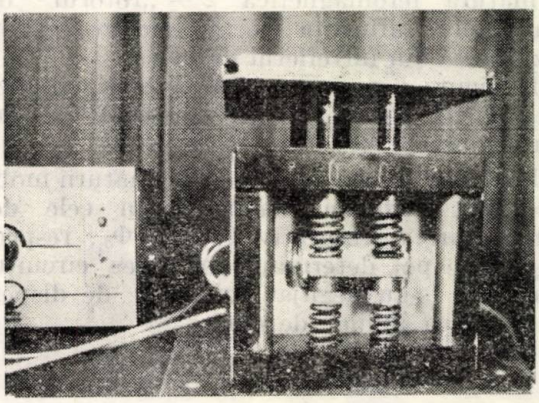


Fig. 4. Oscilomotor cu mișcare de translație.

Contribuția autorilor constă în alegerea tipului de vibrator, proiectarea acestuia pentru regim de frecvență variabilă și alimentare din convertor și controlul instalației de testare la vibrații, care impune: alegerea tipului de convertor, alegerea sistemului de măsurare a parametrilor vibrației, sistemul de reglaj automat.

Deoarece analiza parametrică funcțională și constructivă a vibratorului impune cunoaște-

rea ecuațiilor de funcționare, autorii prezintă aceste ecuații și modul de funcționare a vibratorului, într-o manieră nouă, netratată în literatura de specialitate pe care autorii au avut-o la dispoziție.

1.1. Oscilomotorul liniar. Ecuațiile de funcționare

În figura 5 se prezintă schema de principiu a unui oscilomotor liniar; el se compune din statorul feromagnetic *1*, rotorul *2*, înfășurările, de curent alternativ *3*, denumite de lucru, înfășurarea solenoidală de curent continuu *4*, penumită de polarizare sau premagnetizare.

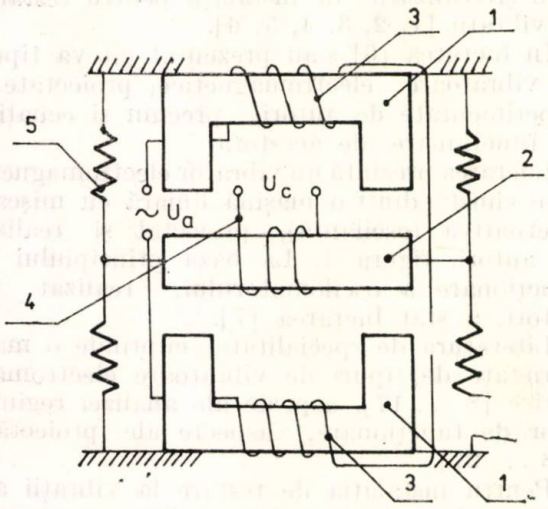


Fig. 5. Schema de principiu a oscilomotorului cu mișcare de translație.

Armătura feromagnetică *2* — „rotorul" oscilează sub influența forței electromagnetice rezultante din întrefierul de lucru.

În figura 6 se reprezintă variația inducției și a forței pentru poziția „blocată" a armăturii mobile („rotorul"), $x = 0$.

Pentru o poziție oarecare a armăturii mobile, $x = x(t)$, fluxurile magnetice în cele două întrefieruri *1*, respectiv *2*, sînt Φ_{δ_1}, respectiv Φ_{δ_2}, ce se pot determina din legea circuitului magnetic (s-au neglijat fluxurile de dispersie și umflarea liniilor de cîmp):

$$(N_{a1}\, i_a + N_c i_c) = \Phi_{\delta_1} R_{m1}, \tag{3}$$

$$(N_c\, i_c - N_{a2}\, i_a) = \Phi_{\delta_2} R_{m2}. \tag{4}$$

Din ecuațiile (3), respectiv (4), rezultă:

$$\Phi_{\delta 1} = \frac{(N_{a1}\, i_a + N_c\, i_a)}{R_{m1}}, \tag{5}$$

și:

$$\Phi_{\delta 2} = \frac{(N_c i_c - N_{a2} i_a)}{R_{m2}}, \tag{6}$$

în care, N_{a1}, N_{a2} reprezintă numărul de spire ale secțiunii *1*, respectiv *2*, a înfășurării de lucru; $N_{a1} = N_{a2}$;

N_c — numărul de spire ale înfășurării de polarizare.

Reluctanțele magnetice R_{m1}, R_{m2} depind de poziția momentană a armăturii mobile:

$$R_{m1} = R_{m1(x)} = \frac{2(l_0 - x)}{\mu_0 \cdot A}, \tag{7}$$

$$R_{m2} = R_{m2(x)} = \frac{2(l_0 + x)}{\mu_0 \cdot A}. \tag{8}$$

Înlocuind relațiile (7) și (8) în (5), respectiv (6), se obține:

$$\Phi_{\delta 1} = \frac{(N_{a1} i_a + N_c i_c) \cdot \mu_0 \cdot A}{2(l_0 - x)} \cong$$

$$\cong \frac{(N_{a1} \cdot i_a + N_c i_c) \cdot \mu_0 \cdot A}{2 l_0} \left(1 + \frac{x}{l_0}\right), \tag{9}$$

$$\Phi_{\delta 2} = \frac{(-N_{a2} i_a + N_c i_c) \cdot \mu_0 \cdot A}{2 (l_0 + x)} \cong$$

$$\cong \frac{(N_c\, i_c - N_{a2}\, i_a) \cdot \mu_0 \cdot A}{2 l_0} \left(1 - \frac{x}{l_0}\right). \tag{10}$$

Corespunzător fluxurilor Φ_{δ_1} și Φ_{δ_2}, pe un pol apar forțele:

$$F_{\delta 1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Phi_{\delta_1}^2}{\mu_0 \cdot A}, \tag{11}$$

și:

$$F_{\delta 2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Phi_{\delta 2}^2}{\mu_0 \cdot A}, \tag{12}$$

ar forța rezultantă pe un pol:

$$F_\delta = F_{\delta 1} - F_{\delta 2},$$

$$F_\delta = \frac{1}{2 \cdot \mu_0 \cdot A} (\Phi_{\delta 1}^2 - \Phi_{\delta 2}^2). \tag{13}$$

Forța rezultantă asupra armăturii mobile, $F_r = 2F_\delta$.

$$F_j = \frac{1}{\mu_0 \cdot A} (\Phi_{\delta 1}^2 - \Phi_{\delta 2}^2). \tag{14}$$

Legea inducției electromagnetice sub formă integrală, aplicată conturului închis, format de linia mediană a conductorului înfășurării

de lucru şi o linie a tensiunii la borne, permite să se obţină ecuaţia tensiunilor pentru înfăşurarea de lucru :

$$u_a = (R_{a1} + R_{a2})\, i_a + \\ + \frac{d}{dt}[N_{a1}(\Phi_{a1} + \Phi_{c1}) + N_{a2}(\Phi_{a2} - \Phi_{c2}), \quad (15)$$

în care :

R_{a1}, R_{a2} sînt rezistenţele ohmice ale secţiunilor *1*, resectiv *2*, ale înfăşurării de lucru.

Ecuaţia (15) se mai poate scrie :

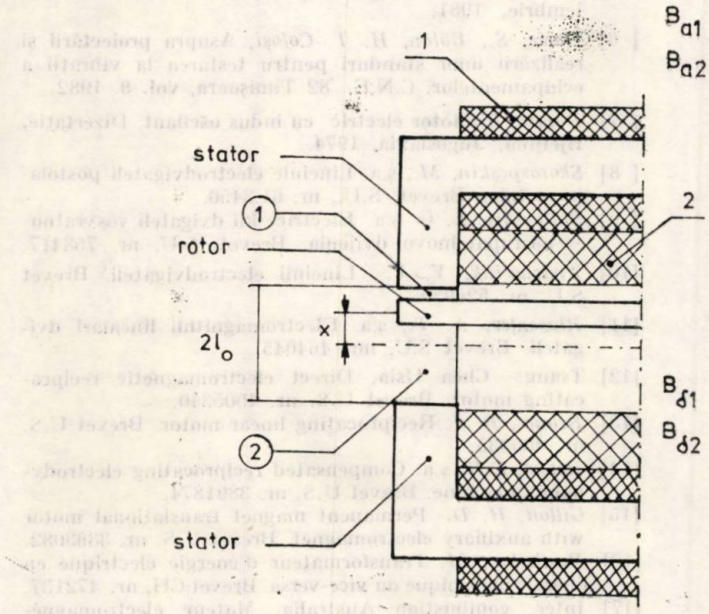
$$u_a = R_a\, i_a + N_{a1}\frac{d}{dt}[\Phi_{\delta 1} - \Phi_{\delta 2}], \quad (16)$$

în care :

$\Phi_{\delta 1}$, respectiv $\Phi_{\delta 2}$ sînt fluxurile rezultante în întrefierul *1*, respectiv *2*, $\Phi_{\delta 1} = \Phi_{a1} + \Phi_{c1}$; $\Phi_{\delta 2} = \Phi_{c2} - \Phi_{a2}$.

În mod analog se obţine ecuaţia tensiunilor pentru înfăşurarea de polarizare :

$$u_c = R_c\, i_c + N_c\frac{d}{dt}[\Phi_a + \Phi_{c1} + \Phi_{c2} - \Phi_{a2}] = \\ = R_c\, i_c + N_c\frac{d}{dt} \rightarrow\leftarrow [\Phi_{\delta 1} + \Phi_{\delta 2}]. \quad (17)$$



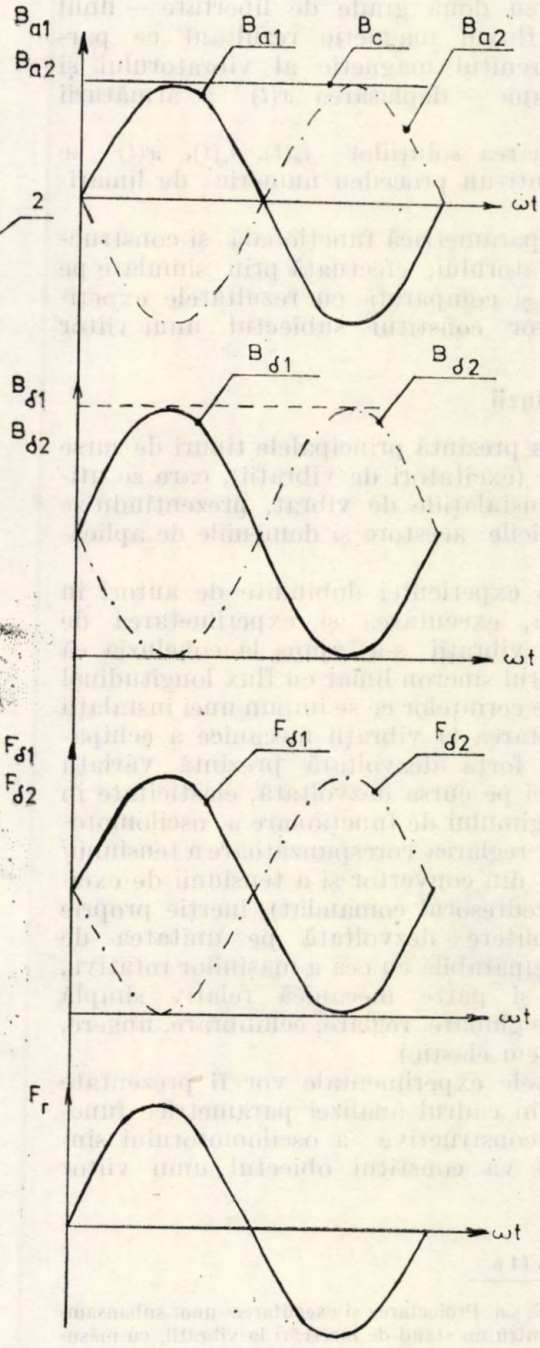


Fig. 6. Variaţia inducţiei şi a forţei în întrefier, pentru poziţia blocată a armăturii mobile pe poziţia mediană ($x = 0$).

Ecuaţia de mişcare a armăturii mobile este :

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + K_e \cdot x + M \cdot g = F_r, \qquad (18)$$

în care :

M este masa totală în mişcare (masa armăturii mobile + masa tiranţilor de ghidare + masa echipamentului de încercat etc.);

K_e — constanta elastică echivalentă a resoartelor.

Ecuaţiile (14), (16), (17) şi (18) caracterizează complet funcţionarea vibratorului, privit ca un sistem electromecanic de conversie a energiei cu două grade de libertate — unul electric — fluxul magnetic rezultant ce parcurge circuitul magnetic al vibratorului şi unul mecanic — deplasarea $x(t)$ a armăturii mobile.

Aproximarea soluţiilor $i_a(t)$, $i_c(t)$, $x(t)$ se obţine printr-un procedeu numeric de liniarizare.

Analiza parametrică funcţională şi constructivă a vibratorului, efectuată prin simulare pe calculator şi comparată cu rezultatele experimentale, vor constitui subiectul unui viitor articol.

2. Concluzii

Lucrarea prezintă principalele tipuri de surse de vibraţii (excitatori de vibraţii), care se utilizează în instalaţiile de vibrat, prezentîndu-se caracteristicile acestora şi domeniile de aplicabilitate.

Pe baza experienţei dobîndite de autori în proiectarea, executarea şi experimetarea de surse de vibraţii s-a ajuns la concluzia că oscilomotorul sincron liniar cu flux longitudinal corespunde cerinţelor ce se impun unei instalaţii pentru testarea la vibraţii mecanice a echipamentelor : forţa dezvoltată prezintă variaţii relativ mici pe cursa dezvoltată, elasticitate în reglajul regimului de funcţionare a oscilomotorului (prin reglarea corespunzătoare a tensiunii/frecvenţei din convertor şi a tensiunii de excitaţie din redresorul comandat), inerţie proprie redusă, putere dezvoltată pe unitatea de volum comparabilă cu cea a maşinilor rotative, robusteţe şi parte mecanică relativ simplă (sisteme de ghidare, reglare, echilibrare, ungere, răcire, sistem elastic).

Rezultatele experimentale vor fi prezentate de autori în cadrul analizei parametrice funcţionale şi constructive a oscilomotorului sincron, care va constitui obiectul unui viitor articol.

Bibliografie

[1] *Darie, S.* ş.a. Proiectarea şi executarea unor subansambluri pentru un stand de încercări la vibraţii, cu măsurarea amplitudinii, frecvenţei şi acceleraţiei vibraţiilor. Contract 23.77., I.I.S. „Electroceramica" Turda, 1979.

[2] *Darie, S.*, ş.a. Proiectarea şi execuţia unei instalaţii pentru compactizarea stratului izolant a încălzitoarelor pentru băi galvanice. Contract 12.80., I.I.S. „Electroceramica" Turda. 1980.

[3] *Darie, S.*, ş.a. Proiectarea şi realizarea unei instalaţii pentru vibrat încălzitoare electrice. Contract 68.81, I.I.S., „Electroceramica" Turda, 1981.

[4] *Darie, S.*, ş.a. Cercetarea, proiectarea şi realizarea unei instalaţii pentru compactizarea oxizilor de aluminiu, cu frecvenţă variabilă (5 ... 100) Hz, amplitudine variabilă, cu măsurarea frecvenţei, amplitudinii şi acceleraţiei vibraţiilor. Contract 54.81., I.I.S. „Electroceramica" Turda, 1981.

[5] *Darie, S., Bălan, H.* Stand pentru testarea la vibraţii a echipamentelor. Surse de alimentare. Simpozionul tehnico-ştiinţific C.U.G., Cluj-Napoca, 19 — 21 noiembrie, 1981.

[6] *Darie, S., Bălan, H. T. Coloşi,* Asupra proiectării şi realizării unor standuri pentru testarea la vibraţii a echipamentelor. C.N.E. '82 Timişoara, **vol. 9**. 1982.

[7] *Pantić, B.* Motor electric cu indus oscilant. Dizertaţie, Bjeljina, Jugoslavia, 1974.

[8] *Skorospeşkin, M.*, ş.a. Lineinîe electrodvigateli postoianovo toka. Brevet, S.U., nr. 61.3456.

[9] *Sidlovskii, L. G.* ş.a. Electriceskii dvigateli vosvratno— postupatelnovo dvijenia. Brevet. S.U. nr. 758417.

[10] *Andruşciuk, V. V.* Lineinii electrodvigateli. Brevet S.U. nr. 526989.

[11] *Riaşenţev, A. T.*, ş.a. Electromagnitnii lineaiari dvigateli. Brevet S.U. mr. 464045.

[12] Tsang — Chea Hsia. Direct electromagnetic reciprocating motor. Brevet U.S. nr. 4005340.

[13] *Brauer, R. J.* Reciprocating linear motor. Brevet U.S. nr. 400935.

[14] *Roters, C.H.* ş.a. Compensated reciprocating electrodynamic machine. Brevet U.S. nr. 3891874.

[15] *Gillott, H. D.* Permanent magnet translational motor with auxiliary electromagnet. Brevet U.S. nr. 3863082.

[16] *Barthalon, M.* Transformateur d'énergie électrique en énergie mécanique ou vice-versa. Brevet CH, nr. 472137.

[17] Inter. combustion Australia. Moteur électromagnétique linéaire vibrant et machines comportant ce moteur. Brevet FR, nr. 2330188.

[18] *Marinescu, M.* Sur un nouveau moteur électrique à mouvement alternatif. R.G.E., Tome 70, 1961.

[19] *Marinescu, M.* L'effet d'hystérése électromécanique. R.G.E., Tome 71. 1962.

[20] *Marinescu, M.* On the production of alternative (attractive and repulsive) electromagnetic forces. New means of on linear motor development R.R.S.T. Série Electr. et Energ. nr. 3/1965.

[21] *Marinescu. M.* Acţionarea compresoarelor cu oscilomotor de tip parametric. Metodică de calcul. În : St. cerc. energ. electr. nr. 4/1966.

[22] *Saal, C.* Contribuţii la studiul funcţinării oscilomotorului bifazat sincron. În : St. cerc. energ. electr. nr. 4, 1967.

[23] *Saal, C.* Contribuţii la teoria vibratorului electromagnetic polarizat In : Electrotehnica, nr. 2, 1968.

[24] *Saal, C.* Comportarea în sarcină a unor oscilomotoare sincrone bifazate. În : St. cerc. energ. electr. nr. 3, 1971.

[25] *Roubicek, O.* Basic equations for the steady state of a low frequency synchronous translatory electromotor with a great amplitude of path. În : Acta Tehnika, nr. 3, 1972.

[26] *Roubicek, O.* Das elektromagnetische Stromfeld des Niederfrequenz-synchronmotors mit Translationsbewegung mit grosser Bahnamplitude. In : Acta Tehnica nr. 4, 1970.

[27] *Kudarauskas, S.* Comparisons of the oscillating synchronous motors of various types. Conf. Linear Electr Mach., London, 1974, p. 106 — 111.

CZ 628.93.001.24

ILUMINAT INTERIOR
FACTORI DE LEGĂTURĂ
CALCULUL ILUMINĂRII

Factorii de legătură între suprafețele unei instalații de iluminat interior

PAUL DINCULESCU* — BUCUREȘTI

În calculele fotometrice uzuale pentru instalații de iluminat cu corpuri de iluminat simetrice, suspendate la distanța h' față de tavan, pereții pe înălțimea h în raport cu planul util și friza (porțiunea din pereți cu înălțimea h') sînt considerate ca două suprafețe concave, caracterizate prin cîte un singur factor de reflexie care, în general, este factorul de reflexie mediu ponderat al suprafețelor plane componente.

Dacă factorii de reflexie ai suprafețelor plane ale pereților și frizei sînt mult diferiți între ei, iar iluminarea suprafețelor respective este diferită (datorită asimetriei distribuției fluxurilor luminoase directe ale corpurilor de iluminat), prezintă interes cunoașterea factorilor de legătură între fiecare din suprafețele plane distincte din instalația de iluminat.

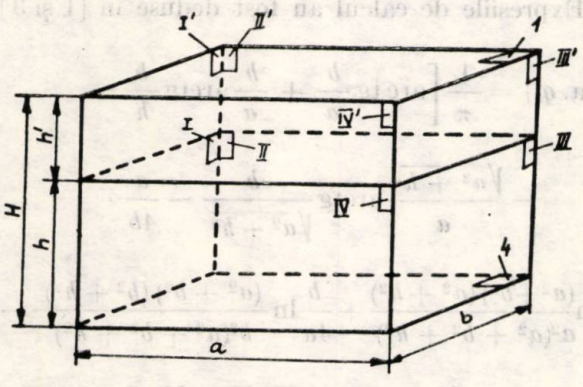


Fig. 1

1. Modelul de calcul cu considerarea separată a fiecărei suprafețe

Conform figurii 1, într-o încăpere paralelipipedică cu baza $a \times b$ în care corpurile de iluminat sînt situate la distanța h față de planul util și la distanța h' față de tavan se disting zece suprafețe plane dreptunghiulare: suprafața tavanului (1), suprafețele frizei (I', II', III', IV'), suprafețele pereților (I, II, III, IV) și suprafața planului util (4). Toate suprafețele sînt considerate perfect difuzante prin reflexie.

Se notează $h + h' = H$ și $b/a = \mu$.

2. Exprimarea analitică a factorilor de legătură

Factorul de legătură q_{ij} între suprafețele S_i și S_j, care exprimă fracțiunea din fluxul luminos emis (prin reflexie) de suprafața S_i, care cade pe suprafața S_j, se calculează cu relația [1]:

$$q_{ij} = \frac{E_{mi}}{\pi L_j}, \tag{1}$$

în care E_{mi} este iluminarea medie pe suprafața S_i produsă de suprafața S_j, avînd luminanța L_j.

Pornind de la expresia iluminării produse de suprafața S_j într-un punct de coordonate (x, y) de pe suprafața S_i, rezultă [2]:

$$q_{ij} = \frac{1}{2\pi\, a_i b_i} \int_{x=0}^{a_i} \int_{y=0}^{b_i} g(x, y)\, \mathrm{d}x\mathrm{d}y \tag{2}$$

unde a_i și b_i sînt laturile suprafeței S_i, iar $g(x, y)$ este o funcție care depinde de poziția relativă a suprafețelor S_i și S_j. Fiecărei perechi de suprafețe din instalația de iluminat îi corespunde o funcție $g(x, y)$ obținută pe baza situațiilor particulare din figura 2 (pentru care se cunosc formulele de calcul al iluminării în punctul P), aplicînd principiul suprapunerii efectelor.

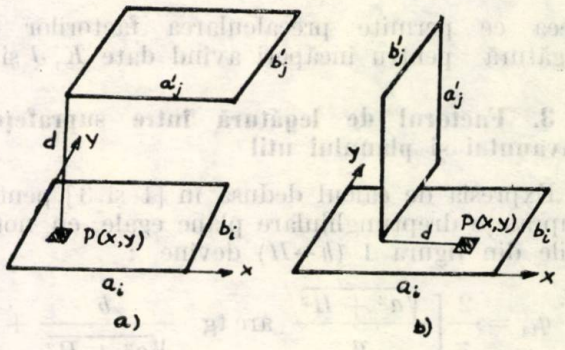


Fig. 2

Din egalitatea coeficienților de schimb ($g_{ij} = g_{ji}$) rezultă factorul de legătură între suprafețele S_j și S_i:

$$q_{ji} = q_{ij} \frac{A_i}{A_j}. \tag{3}$$

* Conf. dr. ing. *Dinculescu, P.* — Institutul politehnic — București.

Ținînd seama de simetria pozițiilor relative ale suprafețelor, o parte din factorii de legătură sînt identici (de exemplu, $q_{14} = q_{41}$, $q_{I\,II} = q_{I\,IV}$). De asemenea, factorii de legătură proprii (q_{ii}) ai celor zece suprafețe sînt nuli (suprafețe plane). Prin urmare, numărul factorilor de legătură care trebuie exprimați analitic independent este mult redus (18 din 100).

Este util ca formulele de calcul obținute să fie exprimate în mărimi relative și adimensionale. Notînd:

$$X = \frac{a}{h}, \quad Y = \frac{b}{h} \tag{4}$$

și introducînd raportul de suspendare:

$$J = \frac{h'}{h + h'} = \frac{h'}{H}, \tag{5}$$

rezultă:

$$\frac{h'}{h} = \frac{J}{1-J}, \quad \frac{h'}{a} = \frac{J}{X(1-J)},$$
$$\frac{H}{h} = \frac{1}{1-J}, \quad \frac{h'}{b} = \frac{J}{Y(1-J)},$$
$$\frac{H}{h'} = \frac{1}{J}, \quad \frac{a}{b} = \frac{X}{Y},$$
$$\frac{H}{a} = \frac{1}{X(1-J)}, \tag{6}$$
$$\frac{H}{b} = \frac{1}{Y(1-J)}, \quad \frac{b}{a} = \frac{Y}{X}.$$

Mărimile X și Y se pot exprima în funcție de indicele instalației K și de raportul laturilor planului util μ [3]:

$$X = K\,\frac{\mu + 1}{\mu}, \quad Y = K(\mu + 1), \tag{7}$$

ceea ce permite precalcularea factorilor de legătură pentru încăperi avînd date K, J și μ.

3. Factorul de legătură între suprafețele tavanului și planului util

Expresia de calcul dedusă în [1 și 3] pentru suprafețe dreptunghiulare plane egale, cu notațiile din figura 1 ($h \to H$) devine:

$$q_{14} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\sqrt{a^2+H^2}}{a}\operatorname{arc\,tg}\frac{b}{\sqrt{a^2+H^2}} + \right.$$
$$+ \frac{\sqrt{b^2+H^2}}{b}\operatorname{arc\,tg}\frac{a}{\sqrt{b^2+H^2}} - \frac{H}{a}\operatorname{arc\,tg}\frac{b}{H} -$$
$$\left. - \frac{H}{b}\operatorname{arc\,tg}\frac{a}{H} + \frac{H^2}{2ab}\ln\frac{(a^2+H^2)(b^2+H^2)}{H^2(a^2+b^2+H^2)}\right], \tag{8}$$

sau, în mărimi relative:

$$q_{14} = \frac{2}{\pi}\left\{\frac{\sqrt{X^2(1-J)^2+1}}{X(1-J)}\operatorname{arc\,tg}\frac{Y(1-J)}{\sqrt{X^2(1-J)^2+1}} + \right.$$
$$+ \frac{\sqrt{Y^2(1-J)^2+1}}{Y(1-J)}\operatorname{arc\,tg}\frac{X(1-J)}{\sqrt{Y^2(1-J)^2+1}} -$$
$$- \frac{1}{X(1-J)}\operatorname{arc\,tg}[Y(1-J)] -$$
$$- \frac{1}{Y(1-J)}\operatorname{arctg}[X(1-J)] + \frac{1}{2XY(1-J)^2}\cdot$$
$$\left.\ln\frac{[X^2(1-J)^2+1][Y^2(1-J)^2+1]}{(X^2+Y^2)(1-J)^2+1}\right\}. \tag{9}$$

Din motive de simetrie:

$$q_{41} = q_{14}. \tag{10}$$

4. Factorii de legătură între suprafețele pereților și planului util

Expresiile de calcul au fost deduse în [1 și 3]

a. $$q_{4I} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arc\,tg}\frac{b}{a} + \frac{h}{a}\operatorname{arctg}\frac{b}{h} - \right.$$
$$- \frac{\sqrt{a^2+h^2}}{a}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+h^2}} - \frac{a}{4b}\cdot$$
$$\ln\frac{(a^2+b^2)(a^2+h^2)}{a^2(a^2+b^2+h^2)} + \frac{b}{4a}\ln\frac{(a^2+b^2)(b^2+h^2)}{b^2(a^2+b^2+h^2)} -$$
$$\left. - \frac{h^2}{4ab}\ln\frac{(a^2+h^2)(b^2+h^2)}{h^2(a^2+b^2+h^2)}\right], \tag{11}$$

respectiv:

$$q_{4I} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arctg}\frac{Y}{X} + \frac{1}{X}\operatorname{arctg}\ Y - \right.$$
$$- \frac{\sqrt{X^2+1}}{X}\operatorname{arctg}\frac{Y}{\sqrt{X^2+1}} - \frac{X}{4Y}\cdot$$
$$\ln\frac{(X^2+Y^2)(X^2+1)}{X^2(X^2+Y^2+1)} + \frac{Y}{4X}\ln\frac{(X^2+Y^2)(Y^2+1)}{Y^2(X^2+Y^2+1)} -$$
$$\left. - \frac{1}{4XY}\ln\frac{(X^2+1)(Y^2+1)}{X^2+Y^2+1}\right]. \tag{12}$$

b. $$q_{4II} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arctg}\frac{a}{b} + \frac{h}{b}\operatorname{arctg}\frac{a}{h} - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{b^2+h^2}}{b}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+h^2}} - \frac{b}{4a}\cdot$$

$$\ln\frac{(a^2+b^2)(b^2+h^2)}{b^2(a^2+b^2+h^2)} + \frac{a}{4b}\ln\frac{(a^2+b^2)(a^2+h^2)}{a^2(a^2+b^2+h^2)} -$$

$$\left. - \frac{h^2}{4ab}\ln\frac{(a^2+h^2)(b^2+h^2)}{h^2(a^2+b^2+h^2)}\right], \qquad (13)$$

respectiv:

$$q_{4II} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arctg}\frac{X}{Y} + \frac{1}{Y}\operatorname{arctg} X - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{Y^2+1}}{Y}\operatorname{arctg}\frac{X}{\sqrt{Y^2+1}} - \frac{Y}{4X}\cdot$$

$$\ln\frac{(X^2+Y^2)(Y^2+1)}{Y^2(X^2+Y^2+1)} + \frac{X}{4Y}\ln\frac{(X^2+Y^2)(X^2+1)}{X^2(X^2+Y^2+1)} -$$

$$\left. - \frac{1}{4XY}\ln\frac{(X^2+1)(Y^2+1)}{X^2+Y^2+1}\right]. \qquad (14)$$

Conform relației (3):

$$q_{I4} = q_{4I}\frac{A_4}{A_I} = q_{4I}\frac{ab}{hb} = q_{4I}\frac{a}{h} = q_{4I}X. \qquad (15)$$

Similar:

$$q_{II4} = q_{4II}Y. \qquad (16)$$

Datorită simetriei:

$$\begin{aligned} q_{4III} &= q_{4I}; \quad & q_{4IV} &= q_{4II}; \\ q_{III4} &= q_{I4}; \quad & q_{IV4} &= q_{II4}. \end{aligned} \qquad (17)$$

5. Factorii de legătură între suprafețele cavității tavan-friză

Factorii de legătură între suprafețele I′ și III′ respectiv II′ și IV′ au expresii de calcul similare cu (8) în care se înlocuiesc $a \to h'$ $H \to a$ respectiv $b \to h'$, $H \to b$.

Pentru suprafețele I' și III′ rezultă:

$$q_{I'III'} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\sqrt{a^2+h'^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+h'^2}} + \right.$$

$$+ \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\operatorname{arctg}\frac{h'}{\sqrt{a^2+b^2}} - \frac{a}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{a} -$$

$$\left. - \frac{a}{b}\operatorname{arctg}\frac{h'}{a} + \frac{a^2}{2bh'}\ln\frac{(a^2+h'^2)(a^2+b^2)}{a^2(a^2+b^2+h'^2)}\right], \qquad (18)$$

sau:

$$q_{I'III'} = \frac{2}{\pi}\left\{\frac{\sqrt{X^2(1-J)^2+J^2}}{J}\operatorname{arctg}\cdot\right.$$

$$\cdot\frac{Y(1-J)}{\sqrt{X^2(1-J)^2+J^2}} + \frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{Y}\operatorname{arctg}\cdot$$

$$\cdot\frac{J}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}} - \frac{X(1-J)}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y}{X} -$$

$$- \frac{X}{Y}\operatorname{atctg}\frac{J}{X(1-J)} + \frac{X^2(1-J)}{2YJ}\cdot$$

$$\left.\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2](X^2+Y^2)}{X^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\right\}, \qquad (19)$$

i

ar pentru suprafețele II′ și IV′:

$$q_{II'IV'} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{a}\operatorname{arctg}\frac{h'}{\sqrt{a^2+b^2}} + \right.$$

$$+ \frac{\sqrt{b^2+h'^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+h'^2}} - \frac{b}{a}\operatorname{arctg}\frac{h'}{b} -$$

$$\left. - \frac{b}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{b} + \frac{b^2}{2ah'}\ln\frac{(a^2+b^2)(b^2+h'^2)}{b^2(a^2+b^2+h'^2)}\right], \qquad (20)$$

sau:

$$q_{II'IV'} = \frac{2}{\pi}\left\{\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{X}\operatorname{arctg}\frac{J}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}} + \right.$$

$$+ \frac{\sqrt{Y^2(1-J)^2+J^2}}{J}\operatorname{arctg}\frac{X(1-J)}{\sqrt{Y^2(1-J)^2+J^2}} -$$

$$- \frac{Y}{X}\operatorname{arctg}\frac{J}{Y(1-J)} - \frac{Y(1-J)}{J}\operatorname{arctg}\frac{X}{Y} +$$

$$\left. + \frac{Y^2(1-J)}{2XJ}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2](X^2+Y^2)}{Y^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\right\}. \qquad (21)$$

Factorii de legătură între suprafețele I′ și II′, I′ și 1 sau II′ și I se obțin din relațiile deduse în [1 și 3] pentru suprafețe dreptunghiulare perpendiculare înlocuind respectiv $a \to b$, $b \to h'$, $h \to a$ sau $a \to h'$, $h \to a$, $4 \to 1$ sau $h \to b$, $b \to a$, $a \to h'$, $4 \to 1$.

În primul caz, rezultă :

$$q_{I'II'} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arctg}\frac{h'}{b} + \frac{a}{b}\operatorname{arctg}\frac{h'}{a} - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\operatorname{arctg}\frac{h'}{\sqrt{a^2+b^2}} - \frac{b}{4h'}\ln \cdot$$

$$\cdot \frac{(b^2+h'^2)(a^2+b^2)}{b^2(a^2+b^2+h'^2)} + \frac{h'}{4b}\ln\frac{(b^2+h'^2)(a^2+h'^2)}{h'^2(a^2+b^2+h'^2)} -$$

$$\left. - \frac{a^2}{4bh'}\ln\frac{(a^2+b^2)(a^2+h'^2)}{a^2(a^2+b^2+h'^2)}\right], \qquad (22)$$

sau :

$$q_{I'II'} = \frac{1}{\pi}\left\{\operatorname{arctg}\frac{J}{Y(1-J)} + \frac{X}{Y}\operatorname{arctg} \cdot \right.$$

$$\cdot \frac{J}{X(1-J)} - \frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{Y}\operatorname{arctg}\frac{J}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}} -$$

$$- \frac{Y(1-J)}{4J}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2](X^2+Y^2)}{Y^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]} +$$

$$+ \frac{J}{4Y(1-J)}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2][X^2(1-J)^2+J^2]}{J^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]} -$$

$$\left. - \frac{X^2(1-J)}{4YJ}\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2](X^2+Y^2)}{X^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\right\}. \qquad (23)$$

În cel de al doilea caz :

$$q_{I'1} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arctg}\frac{b}{h'} + \frac{a}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{a} - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{a^2+h'^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+h'^2}} - \frac{h'}{4b}ln \cdot$$

$$\cdot \frac{(h'^2+b^2)(a^2+h'^2)}{h'^2(a^2+b^2+h'^2)} + \frac{b}{4h'}\ln\frac{(h'^2+b^2)(a^2+b^2)}{b^2(a^2+b^2+h'^2)} -$$

$$\left. - \frac{a^2}{4bh'}\ln\frac{(a^2+h'^2)(a^2+b^2)}{a^2(a^2+b^2+h'^2)}\right], \qquad (24)$$

sau :

$$q_{I'1} = \frac{1}{\pi}\left\{\operatorname{arctg}\frac{Y(1-J)}{J} + \frac{X(1-J)}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y}{X} - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{X^2(1-J)^2+J^2}}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y(1-J)}{\sqrt{X^2(1-J)^2+J^2}} -$$

$$- \frac{J}{4Y(1-J)}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2][X^2(1-J)^2+J^2]}{J^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]} +$$

$$+ \frac{Y(1-J)}{4J}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2](X^2+Y^2)}{Y^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]} -$$

$$\left. - \frac{X^2(1-J)}{4YJ}\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2](X^2+Y^2)}{X^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\right\}. \qquad (25)$$

În cazul al treilea :

$$q_{II'1} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arctg}\frac{a}{h'} + \frac{b}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{b} - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{b^2+h'^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+h'^2}} - \frac{h'}{4a}\ln \cdot$$

$$\cdot \frac{(h'^2+a^2)(h'^2+b^2)}{h'^2(a^2+b^2+h'^2)} + \frac{a}{4h'}\ln\frac{(h'^2+a^2)(b^2+a^2)}{a^2(a^2+b^2+h'^2)} -$$

$$\left. - \frac{b^2}{4ah'}\ln\frac{(b^2+h'^2)(b^2+a^2)}{b^2(a^2+b^2+h'^2)}\right] \qquad (26)$$

au :

$$q_{II'1} = \frac{1}{\pi}\left\{\operatorname{arctg}\frac{X(1-J)}{J} + \frac{Y(1-J)}{J}\operatorname{arctg}\frac{X}{Y} - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{Y^2(1-J)^2+J^2}}{J}\operatorname{arctg}\frac{X(1-J)}{\sqrt{Y^2(1-J)^2+J^2}} -$$

$$- \frac{J}{4X(1-J)}\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2][Y^2(1-J)^2+J^2]}{J^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]} +$$

$$+ \frac{X(1-J)}{4J}\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2](X^2+Y^2)}{X^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]} -$$

$$\left. - \frac{Y^2(1-J)}{4XJ}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2](X^2+Y^2)}{Y^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\right\}. \qquad (27)$$

Avînd în vedere relaţia (3) :

$$q_{II'I'} = q_{I'II'} \frac{A_{I'}}{A_{II'}} = q_{I'II'} \frac{bh'}{ah'} =$$

$$= q_{I'II'} \frac{Y}{X} = q_{I'II'}\mu, \qquad (28)$$

$$q_{1\,I'} = q_{I'1} \frac{A_{I'}}{A_1} = q_{I'1} \frac{bh'}{ab} = q_{I'1} \frac{J}{X(1-J)}, \qquad (29)$$

$$q_{1\,II'} = q_{II'1} \frac{A_{II'}}{A_1} = q_{II'1} \frac{ah'}{ab} = q_{II'1} \frac{J}{Y(1-J)}, \qquad (30)$$

iar din considerente de simetrie :

$$q_{III'I'} = q_{I'III'}\,;\; q_{III'1} = q_{I'1}\,;\; q_{IV'II'} = q_{II'IV'}\,;$$

$$q_{IV'1} = q_{II'1},$$

$$q_{I'IV'} = q_{III'IV'} = q_{III'II'} = q_{I'II'}, \qquad (31)$$

$$q_{II'III'} = q_{IV'III'} = q_{IV'I'} = q_{II'I},$$

$$q_{1\,III'} = q_{1\,I'}\,;\; q_{1\,II'} = q_{1\,IV'}.$$

6. Factorii de legătură între suprafeţele pereţilor

În baza figurii 1 se constată că expresiile de calcul al factorilor de legătură între suprafeţele pereţilor pot fi obţinute din relaţiile de calcul al factorilor de legătură între suprafeţele similare ale frizei (18) ... (23) înlocuind

$$h' \to h \left(\frac{J}{1-J} \to 1\right).$$

Rezultă :

a. — pentru pereţii I şi III :

$$q_{I\,III} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\sqrt{a^2+h^2}}{h}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+h^2}} + \right.$$

$$+\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\operatorname{arctg}\frac{h}{\sqrt{a^2+b^2}} - \frac{a}{h}\operatorname{arctg}\frac{b}{a} -$$

$$\left. -\frac{a}{b}\operatorname{arctg}\frac{h}{a} + \frac{a^2}{2bh}\ln\frac{(a^2+h^2)(a^2+b^2)}{a^2(a^2+b^2+h^2)}\right], \qquad (32)$$

sau :

$$q_{I\,III} = \frac{2}{\pi}\left[\sqrt{X^2+1}\operatorname{arctg}\frac{Y}{\sqrt{X^2+1}} + \right.$$

$$+\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{Y}\operatorname{arctg}\frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} - X\operatorname{arctg}\frac{Y}{X} -$$

$$\left. -\frac{X}{Y}\operatorname{arctg}\frac{1}{X} + \frac{X^2}{2Y}\ln\frac{(X^2+1)(X^2+Y^2)}{X^2(X^2+Y^2+1)}\right]. \qquad (33)$$

b. pentru pereţii II şi IV :

$$q_{II\,IV} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{a}\operatorname{arctg}\frac{h}{\sqrt{a^2+b^2}} + \right.$$

$$+\frac{\sqrt{b^2+h^2}}{h}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+h^2}} - \frac{b}{a}\operatorname{arctg}\frac{h}{b} -$$

$$\left. -\frac{b}{h}\operatorname{arctg}\frac{a}{b} + \frac{b^2}{2ah}\ln\frac{(a^2+b^2)(b^2+h^2)}{b^2(a^2+b^2+h^2)}\right], \qquad (34)$$

sau :

$$q_{II\,IV} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{X}\operatorname{arctg}\cdot\frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} + \right.$$

$$+\sqrt{Y^2+1}\operatorname{arctg}\frac{X}{\sqrt{Y^2+1}} -$$

$$-\frac{Y}{X}\operatorname{arctg}\frac{1}{Y} - Y\operatorname{arctg}\frac{X}{Y} +$$

$$\left. +\frac{Y^2}{2X}\ln\frac{(X^2+Y^2)(Y^2+1)}{Y^2(X^2+Y^2+1)}\right]. \qquad (35)$$

c. pentru pereții I și II:

$$q_{\mathrm{I\,II}} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arctg}\frac{h}{b} + \frac{a}{b}\operatorname{arctg}\frac{h}{a} - \right.$$

$$-\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\operatorname{arctg}\frac{h}{\sqrt{a^2+b^2}} - \frac{b}{4h}\ln\cdot$$

$$\cdot\frac{(b^2+h^2)(a^2+b^2)}{b^2(a^2+b^2+h^2)} + \frac{h}{4b}\ln\frac{(b^2+h^2)(a^2+h^2)}{h^2(a^2+b^2+h^2)} -$$

$$\left. -\frac{a^2}{4bh}\ln\frac{(a^2+b^2)(a^2+h^2)}{a^2(a^2+b^2+h^2)}\right], \qquad (36)$$

sau:

$$q_{\mathrm{I\,II}} = \frac{1}{\pi}\left[\operatorname{arctg}\frac{1}{Y} + \frac{X}{Y}\operatorname{arctg}\frac{1}{X} - \right.$$

$$-\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{Y}\operatorname{arctg}\frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} - \frac{Y}{4}\ln\cdot$$

$$\cdot\frac{(Y^2+1)(X^2+Y^2)}{Y^2(X^2+Y^2+1)} + \frac{1}{4Y}\ln\frac{(Y^2+1)(X^2+1)}{X^2+Y^2+1} -$$

$$\left. -\frac{X^2}{4Y}\ln\frac{(X^2+Y^2)(X^2+1)}{X^2(X^2+Y^2+1)}\right]. \qquad (37)$$

Apelînd la relația (3), se obține:

$$q_{\mathrm{II\,I}} = q_{\mathrm{I\,II}}\frac{A_{\mathrm{I}}}{A_{\mathrm{II}}} = q_{\mathrm{I\,II}}\frac{bh}{ah} =$$

$$= q_{\mathrm{I\,II}}\frac{Y}{X} = q_{\mathrm{I\,II}}\,\mu, \qquad (38)$$

iar condițiile de simetrie implică:

$$q_{\mathrm{III\,I}} = q_{\mathrm{I\,III}};\quad q_{\mathrm{IV\,II}} = q_{\mathrm{II\,IV}};$$

$$q_{\mathrm{I\,IV}} = q_{\mathrm{III\,II}} = q_{\mathrm{III\,IV}} = q_{\mathrm{I\,II}}, \qquad (39)$$

$$q_{\mathrm{II\,III}} = q_{\mathrm{IV\,I}} = q_{\mathrm{IV\,III}} = q_{\mathrm{II\,I}}.$$

7. Factorii de legătură între suprafețele frizei și planului util

Expresiile de calcul au fost deduse în [2]. Referitor la suprafețele I′ și 4, rezultă:

$$q_{\mathrm{I'4}} = \frac{1}{\pi}\left[\frac{H}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{H} - \frac{h}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{h} - \right.$$

$$-\frac{\sqrt{a^2+H^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+H^2}} +$$

$$+\frac{\sqrt{a^2+h'^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+h'^2}} +$$

$$+\frac{a^2}{4bh'}\ln\frac{(a^2+h^2)(a^2+b^2+H^2)}{(a^2+H^2)(a^2+b^2+h^2)} -$$

$$-\frac{b}{4h'}\ln\frac{(b^2+h^2)(a^2+b^2+H^2)}{(b^2+H^2)(a^2+b^2+h^2)} -$$

$$-\frac{H^2}{4bh'}\ln\frac{(b^2+H^2)(a^2+H^2)}{H^2(a^2+b^2+H^2)} +$$

$$\left. +\frac{h^2}{4bh'}\ln\frac{(b^2+h^2)(a^2+h^2)}{h^2(a^2+b^2+h^2)}\right], \qquad (40)$$

sau:

$$q_{\mathrm{I'4}} = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{1}{J}\operatorname{arc\,tg}[Y(1-J)] - \frac{1-J}{J}\operatorname{arctg}Y - \right.$$

$$-\frac{\sqrt{X^2(1-J)^2+1}}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y(1-J)}{\sqrt{X^2(1-J)^2+1}} +$$

$$+\frac{(1-J)\sqrt{X^2+1}}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y}{\sqrt{X^2+1}} +$$

$$+\frac{X^2(1-J)}{4YJ}\ln\frac{(X^2+1)[(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{[X^2(1-J)^2+1][X^2+Y^2+1]} -$$

$$-\frac{Y(1-J)}{4J}\ln\frac{(Y^2+1)[(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{[Y^2(1-J)^2+1](X^2+Y^2+1)} -$$

$$-\frac{1}{4YJ(1-J)}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+1][X^2(1-J)^2+1]}{(X^2+Y^2)(1-J)^2+1} +$$

$$\left. +\frac{1-J}{4YJ}\ln\frac{(Y^2+1)(X^2+1)}{X^2+Y^2+1}\right\}. \qquad (41)$$

În cazul suprafețelor II′ și 4, în formulele (40) și (41) se înlocuiesc $a \to b$, $b \to a$ ($X \to Y$, $Y \to X$) și se obține:

$$q_{\mathrm{II'4}} = \frac{1}{\pi}\left[\frac{H}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{H} - \frac{h}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{h} - \right.$$

$$-\frac{\sqrt{b^2+H^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+H^2}} +$$

$$+\frac{\sqrt{b^2+h^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+h^2}} +$$

$$+\frac{b^2}{4ah'}\ln\frac{(b^2+h^2)(a^2+b^2+H^2)}{(b^2+H^2)(a^2+b^2+h^2)}-$$

$$-\frac{a}{4h'}\ln\frac{(a^2+h^2)(a^2+b^2+H^2)}{(a^2+H^2)(a^2+b^2+h^2)}-$$

$$-\frac{H^2}{4ah'}\ln\frac{(a^2+H^2)(b^2+H^2)}{H^2(a^2+b^2+H^2)}+$$

$$+\frac{h^2}{4ah'}\ln\frac{(a^2+h^2)(b^2+h^2)}{h^2(a^2+b^2+h^2)}\Bigg], \quad (42)$$

sau :

$$q_{\text{II}'4}=\frac{1}{\pi}\Bigg\{\frac{1}{J}\operatorname{arctg}[X(1-J)]-\frac{1-J}{J}\operatorname{arctg}X-$$

$$-\frac{\sqrt{Y^2(1-J)^2+1}}{J}\operatorname{arctg}\frac{X(1-J)}{\sqrt{Y^2(1-J)^2+1}}+$$

$$+\frac{(1-J)\sqrt{Y^2+1}}{J}\operatorname{arctg}\frac{X}{\sqrt{Y^2+1}}+$$

$$+\frac{Y^2(1-J)}{4XJ}\ln\frac{(Y^2+1)[(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{[Y^2(1-J)^2+1](X^2+Y^2+1)}-$$

$$-\frac{X(1-J)}{4J}\ln\frac{(X^2+1)[(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{[X^2(1-J)^2+1][X^2+Y^2+1]}-$$

$$-\frac{1}{4XJ(1-J)}\ln\frac{[X^2(1-J)^2+1][Y^2(1-J)^2+1]}{(X^2+Y^2)(1-J)^2+1}+$$

$$+\frac{1-J}{4XJ}\ln\frac{(X^2+1)(Y^2+1)}{X^2+Y^2+1}\Bigg\}. \quad (43)$$

Conform relaţiei (3) :

$$q_{4\text{I}'}=q_{\text{I}'4}\frac{A_{\text{I}'}}{A_4}=q_{\text{I}'4}\frac{bh'}{ab}=q_{\text{I}'4}\frac{J}{X(1-J)}, \quad (44)$$

$$q_{4\text{II}'}=q_{\text{II}'4}\frac{A_{\text{II}'}}{A_4}=q_{\text{II}'4}\frac{ah'}{ab}=q_{\text{II}'4}\frac{J}{Y(1-J)}, \quad (45)$$

iar din condiţii de simetrie :

$$q_{\text{III}'4}=q_{\text{I}'4};\ q_{4\text{III}'}=q_{4\text{I}'};\ q_{\text{IV}'4}=q_{\text{II}'4};\ q_{4\text{IV}'}=q_{4\text{II}'}. \quad (46)$$

8. Factorii de legătură între suprafeţele frizei şi suprafeţele pereţilor

Deducerea relaţiilor de calcul a fost făcută în [2] rezultînd :

a. $$q_{\text{I}'\text{III}}=\frac{1}{\pi}\Bigg[\frac{\sqrt{a^2+H^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+H^2}}-$$

$$-\frac{\sqrt{a^2+h'^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+h'^2}}+$$

$$+\frac{H\sqrt{a^2+b^2}}{bh'}\operatorname{arctg}\frac{H}{\sqrt{a^2+b^2}}-$$

$$-\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\operatorname{arctg}\frac{h'}{\sqrt{a^2+b^2}}-\frac{aH}{bh'}\operatorname{arctg}\frac{H}{a}+$$

$$+\frac{a}{b}\operatorname{arctg}\frac{h'}{a}-\frac{\sqrt{a^2+h^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+h^2}}-$$

$$-\frac{h\sqrt{a^2+b^2}}{h'b}\operatorname{arctg}\frac{h}{\sqrt{a^2+b^2}}+\frac{a}{h'}\operatorname{arctg}\frac{b}{a}+$$

$$+\frac{ah}{bh'}\operatorname{arctg}\frac{h}{a}-$$

$$-\frac{a^2}{2bh'}\ln\frac{(a^2+h^2)(a^2+b^2)(a^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{a^2(a^2+b^2+h^2)(a^2+b^2+h'^2)(a^2+H^2)}\Bigg], \quad (47)$$

sau :

$$q_{\text{I}'\text{III}}=\frac{1}{\pi}\Bigg\{\frac{\sqrt{X^2(1-J)^2+1}}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y(1-J)}{\sqrt{X^2(1-J)^2+1}}-$$

$$-\frac{\sqrt{X^2(1-J)^2+J^2}}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y(1-J)}{\sqrt{X^2(1-J)^2+J^2}}+$$

$$+\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{JY}\operatorname{arctg}\frac{1}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}-$$

$$-\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{Y}\operatorname{arctg}\frac{J}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}-$$

$$-\frac{X}{JY}\operatorname{arctg}\frac{1}{(1-J)X}+\frac{X}{Y}\operatorname{arctg}\frac{J}{(1-J)X}-$$

$$-\frac{(1-J)\sqrt{X^2+1}}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y}{\sqrt{X^2+1}}-$$

$$-\frac{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}{JY}\operatorname{arctg}\frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}}+$$

$$+\frac{(1-J)X}{J}\operatorname{arctg}\frac{Y}{X}+\frac{(1-J)X}{JY}\operatorname{arctg}\frac{1}{X}-$$

$$-\frac{(1-J)X^2}{2JY}\ln\frac{(X^2+1)(X^2+Y^2)[X^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{X^2(X^2+Y^2+1)[X^2(1-J)^2+1][(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\Bigg\}. \quad (48)$$

b. $$q_{II'IV}=\frac{1}{\pi}\left[\frac{\sqrt{b^2+H^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+H^2}}-\right.$$

$$-\frac{\sqrt{b^2+h'^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+h'^2}}+$$

$$+\frac{H\sqrt{a^2+b^2}}{ah'}\operatorname{arctg}\frac{H}{\sqrt{a^2+b^2}}-$$

$$-\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{a}\operatorname{arctg}\frac{h'}{\sqrt{a^2+b^2}}-\frac{bH}{ah'}\operatorname{arctg}\frac{H}{b}+$$

$$+\frac{b}{a}\operatorname{arctg}\frac{h'}{b}-\frac{\sqrt{b^2+h^2}}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+h^2}}-$$

$$-\frac{h\sqrt{a^2+b^2}}{ah'}\operatorname{arctg}\frac{h}{\sqrt{a^2+b^2}}+\frac{b}{h'}\operatorname{arctg}\frac{a}{b}+$$

$$+\frac{bh}{ah'}\operatorname{arctg}\frac{h}{b}-\frac{b^2}{2ah'}\ln\cdot$$

$$\left.\cdot\frac{(b^2+h^2)(a^2+b^2)\,(b^2+h^2)(a^2+b^2+H^2)}{b^2(a^2+b^2+h^2)(a^2+b^2+h'^2)(b^2+H^2)}\right], \tag{49}$$

sau :

$$q_{II'IV}=\frac{1}{\pi}\left\{\frac{\sqrt{Y^2(1-J)^2+1}}{J}\operatorname{arctg}\cdot\right.$$

$$\cdot\frac{X(1-J)}{\sqrt{Y^2(1-J)^2+1}}-\frac{\sqrt{Y^2(1-J)^2+J^2}}{J}\operatorname{arctg}\cdot$$

$$\cdot\frac{X(1-J)}{\sqrt{Y^2(1-J)^2+J^2}}+\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{JX}\operatorname{arctg}\frac{1}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}-$$

$$-\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{X}\operatorname{arctg}\frac{J}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}-$$

$$-\frac{Y}{JX}\operatorname{arctg}\frac{1}{(1-J)Y}+\frac{Y}{X}\operatorname{arctg}\frac{J}{(1-J)Y}-$$

$$-\frac{(1-J)\sqrt{Y^2+1}}{J}\operatorname{arctg}\frac{X}{\sqrt{Y^2+1}}-$$

$$-\frac{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2)}}{JX}\operatorname{arctg}\frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}}+$$

$$+\frac{(1-J)Y}{J}\operatorname{arctg}\frac{X}{Y}+\frac{(1-J)Y}{JX}\operatorname{arctg}\frac{1}{Y}-$$

$$-\frac{(1-J)Y^2}{2JX}\ln\cdot$$

$$\left.\cdot\frac{(Y^2+1)(X^2+Y^2)[Y^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{Y^2(X^2+Y^2+1)[Y^2(1-J)^2+1][(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\right\}. \tag{50}$$

c. $$q_{I'II}=\frac{1}{2\pi}\left[\frac{h\sqrt{a^2+b^2}}{bh'}\operatorname{arctg}\frac{h}{\sqrt{a^2+b^2}}-\right.$$

$$-\frac{H\sqrt{a^2+b^2}}{bh'}\operatorname{arctg}\frac{H}{\sqrt{a^2+b^2}}+\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\operatorname{arctg}$$

$$\cdot\frac{h'}{\sqrt{a^2+b^2}}+\frac{H}{h'}\operatorname{arctg}\frac{H}{b}-\frac{h}{h'}\operatorname{arctg}\frac{h'}{b}-$$

$$-\operatorname{arctg}\frac{h'}{b}+\frac{aH}{bh'}\operatorname{arctg}\frac{H}{a}-\frac{ah}{bh'}\operatorname{arctg}\frac{h}{a}-$$

$$-\frac{a}{b}\operatorname{arctg}\frac{h'}{a}+\frac{H^2}{4bh'}\ln\frac{(a^2+H^2)(b^2+H^2)}{H^2(a^2+b^2+H^2)}-$$

$$-\frac{h^2}{4bh'}\ln\frac{(a^2+h^2)(b^2+h^2)}{h^2(a^2+b^2+h^2)}-$$

$$-\frac{h'}{4b}\ln\frac{(a^2+h'^2)(b^2+h'^2)}{h'^2(a^2+b^2+h'^2)}+\frac{a^2}{4bh'}\cdot$$

$$\cdot\ln\frac{(a^2+b^2)(a^2+h^2)\,(a^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{a^2(a^2+b^2+h^2)(a^2+b^2+h'^2)(a^2+H^2)}+$$

$$\left.+\frac{b}{4h'}\ln\frac{(b^2+a^2)(b^2+h^2)(b^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{b^2(a^2+b^2+h^2)(a^2+b^2+h'^2)(b^2+H^2)}\right], \tag{51}$$

sau :

$$q_{I'II}=\frac{1}{2\pi}\left\{\frac{(1-J\sqrt{X^2+Y^2}}{JY}\operatorname{arctg}\cdot\right.$$

$$\cdot\frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}}-\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{JY}\operatorname{arctg}\frac{1}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}+$$

$$+\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{Y}\operatorname{arctg}\frac{J}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}+$$

$$+\frac{1}{J}\operatorname{arctg}\frac{1}{Y(1-J)}-\frac{1-J}{J}\operatorname{arctg}\frac{1}{Y}-$$

$$-\operatorname{arctg}\frac{J}{Y(1-J)}+\frac{X}{JY}\operatorname{arctg}\frac{1}{X(1-J)}-$$

$$-\frac{(1-J)X}{JY}\operatorname{arctg}\frac{1}{X}-\frac{X}{Y}\operatorname{arctg}\frac{J}{X(1-J)}+$$

$$+\frac{1}{4YJ(1-J)}\ln\frac{[X^2(1-J)^2+1][Y^2(1-J)^2+1]}{(X^2+Y^2)(1-J)^2+1}-$$

$$-\frac{1-J}{4JY}\ln\frac{(X^2+1)(Y^2+1)}{X^2+Y^2+1}-\frac{J}{4Y(1-J)}\cdot$$

$$\cdot\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2][Y^2(1-J)^2+J^2]}{J^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}+$$

$$+\frac{X^2(1-J)}{4YJ}\ln\cdot$$

$$\cdot\frac{(X^2+Y^2)(X^2+1)[X^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{X^2(X^2+Y^2+1)[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2][X^2(1-J)^2+1]}+$$

$$+\frac{Y(1-J)}{4J}\ln\cdot$$

$$\cdot\frac{(X^2+Y^2)(Y^2+1)[Y^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{Y^2(X^2+Y^2+1)[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2][Y^2(1-J)^2+1]}\Bigg\}. \tag{52}$$

d. $$q_{\text{II}'1}=\frac{1}{2\pi}\Bigg[\frac{h\sqrt{a^2+b^2}}{ah'}\operatorname{arctg}\frac{h}{\sqrt{a^2+b^2}}-$$

$$-\frac{H\sqrt{a^2+b^2}}{ah'}\operatorname{arctg}\frac{H}{\sqrt{a^2+b^2}}+\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{a}\operatorname{arctg}\cdot$$

$$\cdot\frac{h'}{\sqrt{a^2+b^2}}+\frac{H}{h'}\operatorname{arctg}\frac{H}{a}+\frac{h}{h'}\operatorname{arctg}\frac{h}{a}-$$

$$-\operatorname{arctg}\frac{h'}{a}+\frac{bH}{ah'}\operatorname{arctg}\frac{H}{b}-\frac{bh}{ah'}\operatorname{arctg}\frac{h}{b}-$$

$$-\frac{b}{a}\operatorname{arctg}\frac{h'}{b}+\frac{H^2}{4ah'}\ln\frac{(b^2+H^2)(a^2+H^2)}{H^2(a^2+b^2+H^2)}-$$

$$-\frac{h^2}{4ah'}\ln\frac{(b^2+h^2)(a^2+h^2)}{h^2(a^2+b^2+h^2)}-$$

$$-\frac{h'}{4a}\ln\frac{(b^2+h'^2)(a^2+h'^2)}{h'^2(a^2+b^2+h'^2)}+\frac{b^2}{4ah'}\ln\cdot$$

$$\cdot\frac{(a^2+b^2)(b^2+h^2)(b^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{b^2(a^2+b^2+h^2)(a^2+b^2+h'^2)(b^2+H^2)}+$$

$$+\frac{a}{4h'}\ln\cdot$$

$$\cdot\frac{(a^2+b^2)(a^2+h^2)(a^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{a^2(a^2+b^2+h^2)(a^2+b^2+h'^2)(a^2+H^2)}\Bigg], \tag{53}$$

sau :

$$q_{\text{II}'1}=\frac{1}{2\pi}\Bigg\{\frac{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}{JX}\operatorname{arctg}\frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}}-$$

$$-\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{JX}\operatorname{arctg}\frac{1}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}+\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{X}\cdot$$

$$\cdot\operatorname{arctg}\frac{J}{(1-J)\sqrt{X^2+Y^2}}+\frac{1}{J}\operatorname{arctg}\frac{1}{X(1-J)}-$$

$$-\frac{1-J}{J}\operatorname{arctg}\frac{1}{X}-\operatorname{arctg}\frac{J}{Y(1-J)}+\frac{Y}{JX}\cdot$$

$$\cdot\operatorname{arctg}\frac{1}{Y(1-J)}-\frac{(1-J)Y}{JX}\operatorname{arctg}\frac{1}{Y}-$$

$$-\frac{Y}{X}\operatorname{arctg}\frac{J}{Y(1-J)}+\frac{1}{4XJ(1-J)}\cdot$$

$$\cdot\ln\frac{[X^2(1-J)^2+1][Y^2(1-J)^2+1]}{(X^2+Y^2)(1-J)^2+1}-$$

$$-\frac{1-J}{4JX}\ln\frac{(X^2+1)(Y^2+1)}{X^2+Y^2+1}-\frac{J}{4X(1-J)}\cdot$$

$$\cdot\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2][Y^2(1-J)^2+J^2]}{J^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}+$$

$$+\frac{Y^2(1-J)}{4XJ}\ln\frac{(X^2+Y^2)(Y^2+1)[Y^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{Y^2(X^2+Y^2+1)[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2][Y^2(1-J)^2+1]}+$$

$$+\frac{X(1-J)}{4J}\ln\frac{(X^2+Y^2)(X^2+1)[X^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{X^2(X^2+Y^2+1)[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2][X^2(1-J)^2+1]}\Bigg\}. \tag{54}$$

Ceilalţi factori de legătură se obţin pe baza relaţiei (3) sau pe considerente de simetrie :

$$q_{\text{III I}'} = q_{\text{I III}} \frac{h'}{h} = q_{\text{I}'\text{ III}} \frac{J}{1-J}, \tag{55}$$

$$q_{\text{IV II}'} = q_{\text{II}'\text{IV}} \frac{h'}{h} = q_{\text{II}'\text{IV}} \frac{J}{1-J}, \tag{56}$$

$$q_{\text{II I}'} = q_{\text{I}'\text{II}} \frac{bh'}{ah} = q_{\text{I}'\text{II}} \frac{YJ}{X(1-J)}, \tag{57}$$

$$q_{\text{I II}'} = q_{\text{II}'\text{I}} \frac{ah'}{bh} = q_{\text{II}'\text{I}} \frac{XJ}{Y(1-J)}, \tag{58}$$

$$\begin{aligned} &q_{\text{I}'\text{IV}} = q_{\text{III}'\text{II}} = q_{\text{III}'\text{IV}} = q_{\text{I}'\text{II}}, \\ &q_{\text{II}'\text{III}} = q_{\text{IV}'\text{I}} = q_{\text{IV}'\text{III}} = q_{\text{II}'\text{I}} \\ &q_{\text{IV I}'} = q_{\text{II I}'} = q_{\text{IV III}'} = q_{\text{II III}'} \\ &q_{\text{III II}'} = q_{\text{III IV}'} = q_{\text{I II}'} = q_{\text{I IV}'}, \\ &q_{\text{I III}'} = q_{\text{III I}'}; \quad q_{\text{III}'\text{I}} = q_{\text{I}'\text{III}}. \\ &q_{\text{II IV}'} = q_{\text{IV II}'}; \quad q_{\text{II}'\text{IV}} = q_{\text{IV}'\text{II}}. \end{aligned} \tag{59}$$

9. Factorii de legătură între suprafeţele pereţilor şi tavanului

Relaţiile de calcul sînt similare celor din cazul friză — plan util în care se face înlocuirea $h' \to \infty$, $h \to h'$. Se obţine :

a. $$q_{\text{I I}} = \frac{1}{\pi}\left[\frac{H}{h}\operatorname{arctg}\frac{b}{H} - \frac{h'}{h}\operatorname{arctg}\frac{b}{h'} - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{a^2+H^2}}{h}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+H^2}} + \frac{\sqrt{a^2+h'^2}}{h} \cdot$$

$$\cdot \operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{a^2+h'^2}} + \frac{a^2}{4bh}\ln\frac{(a^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{(a^2+H^2)(a^2+b^2+h'^2)} -$$

$$- \frac{b}{4h}\ln\frac{(b^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{(b^2+H^2)(a^2+b^2+h'^2)} -$$

$$- \frac{H^2}{4bh}\ln\frac{(b^2+H^2)(a^2+H^2)}{H^2(a^2+b^2+H^2)} +$$

$$\left. + \frac{h'^2}{4bh}\ln\frac{(b^2+h'^2)(a^2+h'^2)}{h'^2(a^2+b^2+h'^2)}\right] \tag{60}$$

sau :

$$q_{\text{I I}} = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{1}{1-J}\operatorname{arctg}[Y(1-J)] - \right.$$

$$- \frac{J}{1-J}\operatorname{arctg}\frac{Y(1-J)}{J} -$$

$$- \frac{\sqrt{X^2(1-J)^2+1}}{1-J}\operatorname{arctg}\frac{Y(1-J)}{\sqrt{X^2(1-J)^2+1}} +$$

$$+ \frac{\sqrt{X^2(1-J)^2+J^2}}{1-J}\operatorname{arctg}\frac{Y(1-J)}{\sqrt{X^2(1-J)^2+J^2}} +$$

$$+ \frac{X^2}{4Y}\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{[X^2(1-J)^2+1][(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]} -$$

$$- \frac{Y}{4}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{[Y^2(1-J)^2+1][(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]} -$$

$$- \frac{1}{4Y(1-J)^2}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+1][X^2(1-J)^2+1]}{(X^2+Y^2)(1-J)^2+1} +$$

$$\left. + \frac{J^2}{4Y(1-J)^2}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2][X^2(1-J)^2+J^2]}{J^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\right\}. \tag{61}$$

b. $$q_{\text{III I}} = \frac{1}{\pi}\left[\frac{H}{h}\operatorname{arctg}\frac{a}{H} - \frac{h'}{h}\operatorname{arctg}\frac{a}{h'} - \right.$$

$$- \frac{\sqrt{b^2+H^2}}{h}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+H^2}} +$$

$$+ \frac{\sqrt{b^2+h'^2}}{h}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{b^2+h'^2}} +$$

$$+ \frac{b^2}{4ah}\ln\frac{(b^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{(b^2+H^2)(a^2+b^2+h'^2)} -$$

$$- \frac{a}{4h}\ln\frac{(a^2+h'^2)(a^2+b^2+H^2)}{(a^2+H^2)(a^2+b^2+h'^2)} -$$

$$- \frac{H^2}{4ah}\ln\frac{(a^2+H^2)(b^2+H^2)}{H^2(a^2+b^2+H^2)} +$$

$$\left. + \frac{h'^2}{4ah}\ln\frac{(a^2+h'^2)(b^2+h'^2)}{h'^2(a^2+b^2+h'^2)}\right], \tag{62}$$

sau :

$$q_{\mathrm{II}\,1}=\frac{1}{\pi}\left\{\frac{1}{1-J}\operatorname{arctg}\left[X(1-J)\right]-\right.$$

$$-\frac{J}{1-J}\operatorname{arctg}\frac{X(1-J)}{J}-\frac{\sqrt{Y^2(1-J)^2+1}}{1-J}\cdot$$

$$\cdot\operatorname{arctg}\frac{X(1-J)}{\sqrt{Y^2(1-J)^2+1}}+\frac{\sqrt{Y^2(1-J)^2+J^2}}{1-J}\cdot$$

$$\cdot\operatorname{arctg}\frac{X(1-J)}{\sqrt{Y^2(1-J)^2+J^2}}+$$

$$+\frac{Y^2}{4X}\ln\frac{[Y^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{[Y^2(1-J)^2+1][(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}-$$

$$-\frac{X}{4}\ln\frac{[X^2(1-J)^2+J^2][(X^2+Y^2)(1-J)^2+1]}{[X^2(1-J)^2+1][(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2)]}-$$

$$-\frac{1}{4X(1-J)^2}\ln\frac{[X^2(1-J^2)+1][Y^2(1-J)^2+1]}{(X^2+Y^2)(1-J)^2+1}+$$

$$+\frac{J^2}{4X(1-J)^2}\ln\cdot$$

$$\left.\cdot\frac{[X^2(1-J)^2+J^2][Y^2(1-J)^2+J^2]}{J^2[(X^2+Y^2)(1-J)^2+J^2]}\right\}. \qquad (63)$$

Pe baza relației (3), rezultă :

$$q_{1\,1}=q_{\mathrm{II}\,1}\frac{h}{a}=q_{\mathrm{II}\,1}\frac{1}{X}, \qquad (64)$$

$$q_{1\,\mathrm{II}}=q_{\mathrm{II}\,1}\frac{b}{h}=q_{\mathrm{II}\,1}\frac{1}{Y}, \qquad (65)$$

iar condițiile de simetrie conduc la :

$$q_{\mathrm{III}\,1}=q_{\mathrm{II}\,1};\ q_{\mathrm{IV}\,1}=q_{\mathrm{II}\,1};\ q_{1\,\mathrm{III}}=q_{1\,1};\ q_{1\,\mathrm{IV}}=q_{1\,\mathrm{II}}. \qquad (66)$$

10. Concluzii

Relațiile stabilite sînt utile pentru :

— determinarea fluxurilor luminoase finale pe suprafețele încăperii, pornind de la fluxurile directe pe suprafețele respective și folosind ecuațiile generale ale schimbului de flux luminos între suprafețe [4];

— determinarea componentei reflectate a iluminăru medii pe planul util sau pe altă suprafață, precum și a contribuției fiecărei suprafețe la obținerea iluminării medii, pe baza emitanțelor luminoase ale suprafețelor unei încăperi iluminate;

— determinarea fluxului direct și a iluminării medii directe pe o suprafață, atunci cînd una din suprafețele încăperii este o sursă de lumină secundară prin transmisie (panou luminos, în cazul iluminatului artificial, sau suprafață vitrată, în cazul iluminatului natural).

Relațiile pot fi folosite fie direct, fie sub formă de curbe [2], sau tabele [4] precalculate, în care valorile factorilor de legătură sînt date în funcție de indicele încăperii și, după caz, de raportul de suspendare.

Bibliografie

[1] *Dinculescu, P.* Schimbul de flux luminos între suprafețe în instalațiile de iluminat. În : Conferința națională de electrotehnică și electroenergetică, Timișoara, 1982, vol. **7**, p. 23 — 31.

[2] *Dinculescu, P.* Factorii de legătură între suprafețele frizei, pereților și planului util în instalațiile de iluminat interior. În : Conferința națională de electrotehnică și electroenergetică. Craiova, 1984, vol. **8**, p. 35—44.

[3] *Dinculescu, P.* Indicatori cantitativi pentru interreflexiile în instalațiile de iluminat interior. În : Conferința națională de electrotehnică și electroenergetică. Timișoara, 1982, vol. **7**, p. 33 — 45.

[4] *Dinculescu, P.* Asupra considerării separate a fiecărui perete în calculul fotometric al instalațiilor de iluminat interior. În : EEA — Electrotehnica, 32 (1984), nr. 8, p. 320—326.

CZ 621.314.5 : 621.431

CONVERTOR
MOTOR PAS CU PAS

Simulare numerică și rezultate experimentale în comanda motoarelor pas cu pas

EMIL VOICULESCU* — CLUJ-NAPOCA

Introducere

Performanțele unui sistem de acționare cu motoare pas cu pas (MPP) dictează modul de alimentare și parametrii schemei de comandă. Calculul acestor parametri, pe baza unor mărimi mecanice date, impune tratarea motorului și a convertorului static asociat ca sistem unitar [1, 2].

În lucrare sînt studiate două moduri de alimentare: cu două tensiuni și prin generatoare de curent în regim de comutație. Sînt determinate principalele mărimi pentru calculul convertorului.

1. Simularea numerică a sistemului convertor-motor

Pentru analiza sistemului convertor-motor este necesară cunoașterea motorului. S-a ales un motor pas cu pas cu autoexcitație, cu patru faze, proiectat și realizat în Institutul politehnic Cluj-Napoca ([3], p. 106, 107).

1.1. Modelul matematic al motorului pas cu pas

Pentru simulare s-a utilizat modelul matematic liniar, în coordonate reale, al MPP. Ecuațiile de tensiuni cu ecuația de mișcare ce constituie modelul matematic, sînt:

$$\begin{cases} v_k = R_k i_k + \sum_{j=1}^{4} L_{kj}(\theta_m)\frac{\mathrm{d}i_k}{\mathrm{d}t} + \\ + \sum_{j=1}^{4} i_k \frac{\partial L_{kj}}{\partial \theta_m}\frac{\mathrm{d}\theta_m}{\mathrm{d}t}, k = 1, 2, 3, 4, \\ \frac{J}{z_r}\frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2} + \frac{B}{z_r}\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + M_r = M \end{cases} \quad (1)$$

unde:

$$M(\theta_m, t) = \sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{4} M_{kj} = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{4}\frac{\partial L_{kj}}{\partial \theta_m} i_k i_j, \quad (2)$$

este momentul electromagnetic;

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ — rezistența ohmică a circuitului unei faze,

θ — unghiul electric;

θ_m — unghiul mecanic instantaneu al rotorului, $\theta = z_r\theta_m$;

z_r — numărul de dinți rotorici;

M_r — momentul rezistent.

Inductivitățile:

$$L_{jj} = \frac{3}{2}L_0 + L_1\cos\left[\theta - (j-1)\frac{\pi}{2}\right], \quad (3)$$

$$L_{jk} = \pm\frac{1}{2}L_0 \pm L_1\cos\left[(j-k)\frac{\pi}{4}\right]\cos\left[\theta - (j+k-2)\frac{\pi}{4}\right], \quad (4)$$

cu: $j, k = 1, 2, 3, 4.$ (5)

1.2. Modelul matematic al convertorului

Se consideră cunoscute modul de alimentare și curentul nominal în fazele motorului. Pentru modelarea convertorului este necesară cunoașterea caracteristicilor cuplu-frecvență ale MPP. Cataloagele de motoare pas cu pas conțin

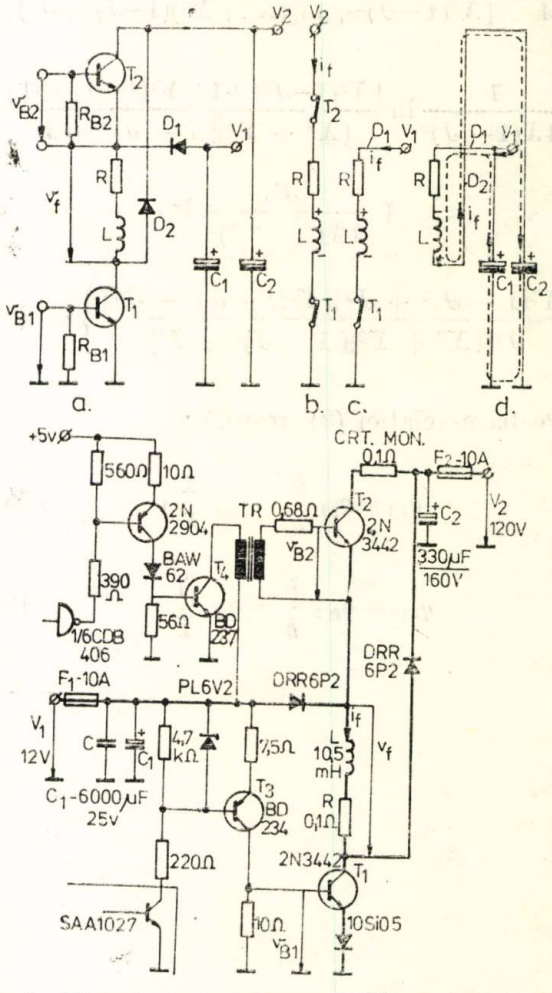


Fig. 1. Alimentarea unei faze a MPP cu două tensiuni: a — schema principială; b — conectarea fazei la sursa de tensiune înaltă; c — menținerea curentului prin conectarea fazei la sursa de tensiune joasă; d — deconectarea fazei, cu recuperarea energiei înmagazinate în inductivitate; e — schema electrică a contactorului static al unei faze.

* Ing. *Voiculescu, E.* — Facultatea de electrotehnică, Institutul politehnic Cluj-Napoca.

aceste caracteristici [4, 5]. De obicei, familia de caracteristici din planul cuplu-frecvenţă are ca parametru tensiunea de alimentare a fazelor motorului. La un cuplu rezistent dat şi o anumită frecvenţă maximă de mers se poate estima simplu cuplul-motor necesar. De aici, folosind caracteristicile cuplu-frecvenţă, rezultă tensiunea de alimentare a convertorului.

Aceste date, tensiunea de alimentare şi curentul nominal în fazele motorului, sînt suficiente pentru stabilirea modelului matematic al convertorului.

1.2.1. Alimentarea cu două tensiuni

In Institutul politehnic Cluj-Napoca acest mod de alimentare a fost pus la punct în 1978 şi este menţinut şi în prezent datorită randamentului crescut pe care îl asigură [6]. Schema de principiu a convertorului unei faze este dată în figura 1a. Alimentarea fiecărei faze a motorului este realizată printr-un astfel de convertor, cu comutaţie de la sarcină, trecerea de la tensiunea de forţare la cea de menţinere (fig. 1 bc) avînd loc la atingerea unui prag prescris al curentului fazei, egal cu curentul nominal (fig. 2, 3).

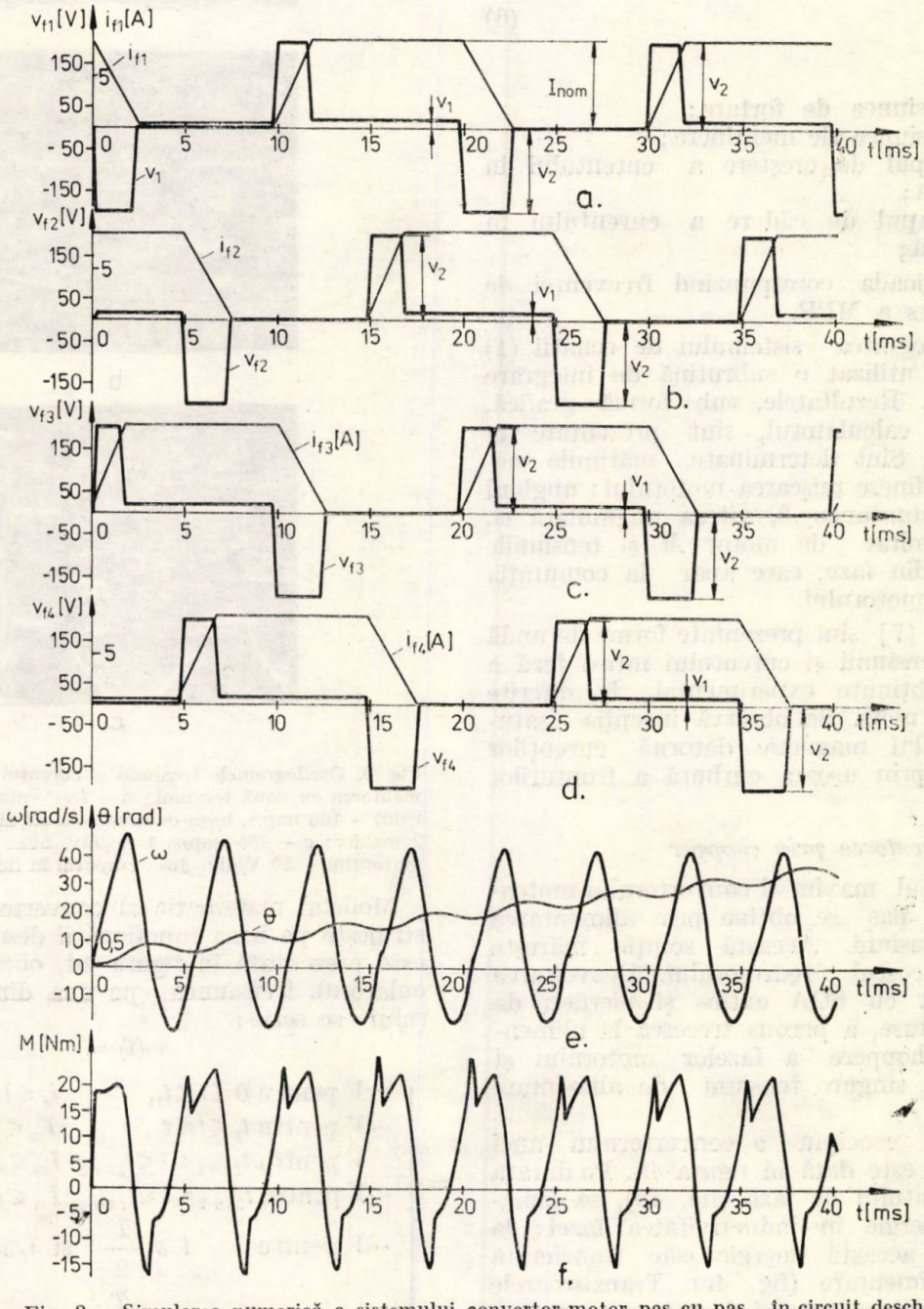


Fig. 2 — Simularea numerică a sistemului convertor-motor pas cu pas, în circuit deschis: a, b, c, d — formele de undă ale tensiunilor şi curenţilor de alimentare ai MPP; e — unghiul mecanic instantaneu şi viteza unghiulară; f — cuplul dezvoltat de motor.

Ecuația tensiunii pe o fază oarecare, k, a motorului este

$$v_{fk}=$$

$$=\begin{cases} V_2 & \text{pentru } 0\leqslant i_{fk}\leqslant I_{ncm},\ 0\leqslant t\leqslant t_c \\ V_1<V_2 & \text{pentru } i_{fk}=I_{nom},\ t_c\leqslant t\leqslant \dfrac{T}{2}, \\ -V_2 & \text{pentru } i_{fk}\leqslant I_{nom},\ \dfrac{T}{2}\leqslant t\leqslant \dfrac{T}{2}+t_{sc}, \\ 0 & \text{și } i_{fk}=0, \text{ pentru } T+t_{sc}\leqslant t\leqslant T, \end{cases} \tag{6}$$

unde:

V_2 este tensiunea de forțare;
V_1 — tensiunea de menținere;
t_c — timpul de creștere a curentului în fază;
t_{sc} — timpul de cădere a curentului în fază;
T — perioada corespunzînd frecvenței de mers a MPP.

Pentru integrarea sistemului de ecuații (1) — (6) s-a utilizat o subrutină de integrare Runge-Kutta. Rezultatele, sub formă grafică, obținute cu calculatorul, sînt prezentate în figura 2 [7]. Sînt determinate mărimile mecanice ce definesc mișcarea motorului: unghiul mecanic instantaneu θ, viteza unghiulară ω, cuplul dezvoltat de motor M și tensiunile și curenții din faze, care apar la comutația înfășurărilor motorului.

În figura 3 [7] sînt prezentate forme de undă tipice ale tensiunii și curentului într-o fază a motorului, obținute experimental, la diferite frecvențe de mers. Se observă începția saturării circuitului magnetic datorită curenților mari (10A), prin ușoara curbură a fronturilor curentului.

1.2.2. Alimentarea prin chopper

Randamentul maxim al convertorului motoarelor pas cu pas se obține prin alimentarea cu două tensiuni. Această soluție mărește gabaritul și costul redresorului. Dezvoltarea tranzistoarelor cu SOA extins și pierderi de comutație reduse, a permis trecerea la alimentarea prin choppere a fazelor motorului și folosirea unei singure tensiuni de alimentare [4, 5].

Schema de principiu a convertorului unei faze a MPP este dată în figura 4a. Pe durata creșterii curentului de fază (fig. 4b), se înmagazinează energie în inductivitatea fazei; la deconectare, această energie este transferată sursei de alimentare (fig. 4c). Tranzistoarele T_1 și T_2 îndeplinesc aceeași funcțiune; comutatoare de fază și regulatoare de curent, concomitent; ele sînt deschise, respectiv blocate, astfel încît curentul fazei să fie menținut între limitele prescrise I_m și I_M.

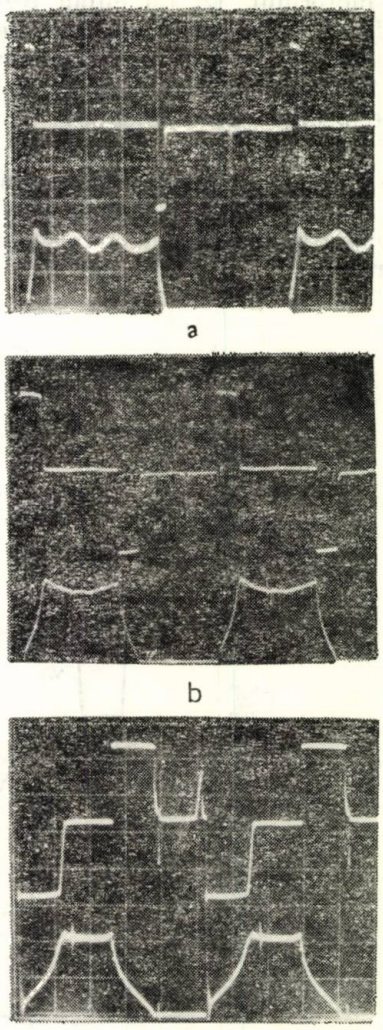


Fig. 3. Oscilogramele tensiunii și curentului obținute la alimentarea cu două tensiuni: a — frecvența de mers a motorului — 100 imp/s, baza de timp — 5 ms/div; b — 360 imp/s, 2 ms/div; c — 735 imp/s, 1 ms/div. Sus: tensiunea pe faza motorului — 50 V/div. Jos: curentul în înfășurare — 5A/div.

Modelul matematic al convertorului se construiește pe baza funcționării descrise, așa cum este prezentată în figura 4d, obținută cu calculatorul. Tensiunea pe una din fazele motorului se scrie:

$$v_f(t)=$$

$$=\begin{cases} V \text{ pentru } 0\leqslant t\leqslant t_1, & i_f\leqslant I_M, \\ -V \text{ pentru } t_1\leqslant t\leqslant t_2, & I_m\leqslant i_f\leqslant I_M \\ V \text{ pentru } t_{2k+1}\leqslant t\leqslant t_{2k+2} & I_m\leqslant i_f\leqslant I_M,\ i_f\nearrow I_M, \\ -V \text{ pentru } t_{2k+2}\leqslant t\leqslant t_{2k+3}, & I_m\leqslant i_f\leqslant I_M,\ i_f\searrow I_m, \\ -V \text{ pentru } & t\geqslant \dfrac{T}{2} \quad \text{și } i_f\geqslant 0, \\ 0 \text{ pentru } & t>\dfrac{T}{2} \quad \text{și } i_f=0, \end{cases} \tag{7}$$

unde :

V este tensiunea de alimentare;

t_1 — timpul de creştere al curentului în fază;

I_M — curentul maxim în fază;

I_m — curentul minim în fază;

T — perioada corespunzînd frecvenţei de mers a MPP;

$t_{2k+}\ldots$ — definiţi în figura 4d.

ruptoare, ceea ce permite alegerea din familia de tranzistoare a celui mai potrivit tip de tranzistor, sub aspectul performanţe/preţ, pentru a fi utilizat în convertor. Repetînd calculul puterii disipate pentru valorile exacte ale timpilor de comutaţie, ţinînd seama şi de modul de comandă în bază, se determină cu precizie regimul tranzistorului întreruptor. Urmează calculul termic şi se determină tipul şi gabaritul radiatoarelor.

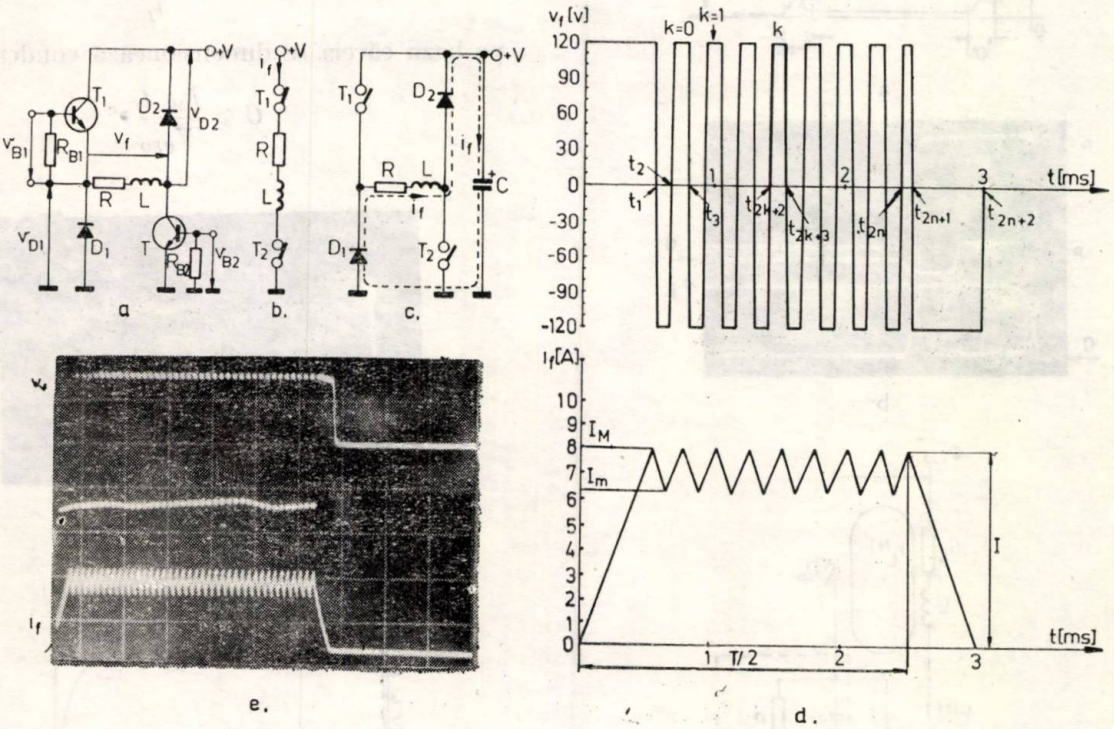


Fig. 4. Alimentarea unei faze a MPP printr-un invertor în punte: a — schema principială; b — conectarea fazei la sursa de alimentare; c — deconectarea fazei, cu recuperarea energiei înmagazinate în inductivitate; d, e — tensiunea şi curentul în faza motorului obţinute cu calculatorul (d) şi experimental (e). Baza de timp: 0,5 ms/div. Sus: tensiunea pe fază — 50 V/div. Jos: curentul în fază — 5 A/div.

În oscilograma din figura 4 e sînt prezentate formele de undă ale tensiunii şi curentului în faza motorului, pentru o frecvenţă de mers de 400 imp/s.

2. Calculul puterii disipate pe tranzistoarele întreruptoare

Pe baza tensiunii de alimentare a convertorului, a curentului maxim în fazele motorului şi a frecvenţei maxime de mers, se aleg familia de tranzistoare de comutaţie şi diodele cu care va fi realizat convertorul (Design — Centre — Rating — System [8], p. 100 — 110). Rezultă în acest fel domeniul de valori în care se vor înscrie timpii de comutaţie ai tranzistoarelor folosite (uzual în jurul valorii de 1 μs pentru curenţi de vîrf $\leqslant$10A). Cunoscînd aceşti timpi şi formele de undă la comutaţie (fig. 5 a, b), se poate calcula puterea disipată medie, respectiv maximă pe tranzistoarele între-

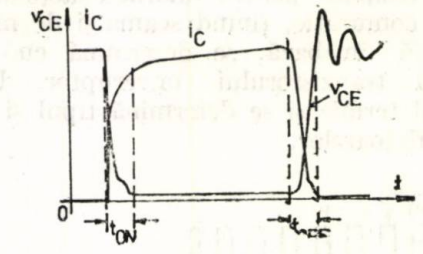
În cazul convertorului pentru alimentarea MPP, faza motorului prezintă o inductivitate importantă, ceea ce face ca puterea disipată de tranzistor la deschidere să fie mult mai mică decît cea de la blocare. Pe caracteristicile din planul (i_C, v_{CE}), comutaţia directă corespunde porţiunilor paralele cu axele (fig. 6 a, b), aceasta însemnînd că puterea disipată la deschidere este neglijabilă.

În figura 5 c, este prezentat contactorul unei faze, prevăzut cu grup RC (slow-rise circuit [8]). Pentru determinarea formelor de undă ale curenţilor şi a puterii disipate pe întreruptor, la modelul dat al convertorului se adaugă ecuaţia v_{CE}, care la blocarea tranzistorului este impusă de grupul RC :

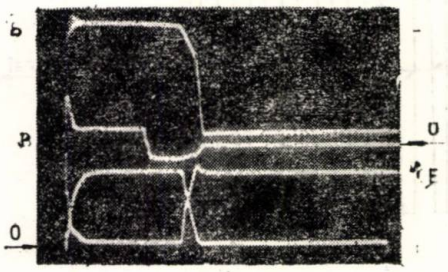
$$i(t) = C\frac{dv_{CE}}{dt}. \qquad (8)$$

Faţă de comutaţia fazei, comutaţia tranzistoarelor şi a diodelor este, de obicei, mai rapidă

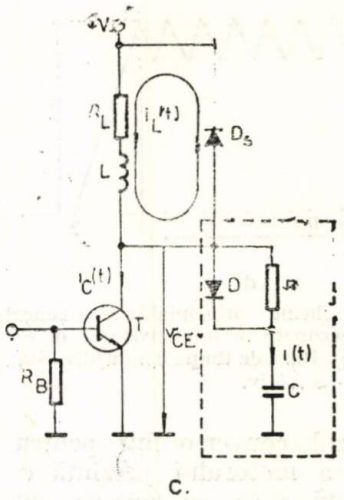
cu 2 — 4 ordine de mărime. Din acest motiv, în majoritatea cazurilor se neglijează timpii de comutaţie ai diodelor şi tranzistoarelor [3]. Pentru calculul puterii disipate însă, prezintă



a



b



c.

Fig. 5. Formele de undă la comutaţie şi schema contactorului fazei : a — cu indicarea timpilor de comutaţie ; b — obţinute experimental. De sus în jos : v_{BE} — 5V/div, i_B — 0,2 A/div, v_{CE} — 50 V/div, i_C — 1 A/div, baza de timp — 0,5 μs/div ; c — circuitul slow-rise.

interes tocmai aceşti timpi. Pe durata blocării tranzistorului, t_f, ecuaţia (8) poate fi liniarizată [8] :

$$\Delta i \simeq C \frac{\Delta v_{CE}}{t_f}, \tag{9}$$

ordinul de mărime al timpului de cădere t_f fiind fracţiuni de μs. Cum timpii de comutaţie ai fazei motorului sînt mult mai mari, la blocarea tranzistorului curentului din inductivitate poate fi considerat, cu bună aproximaţie, ca fiind constant (i_L se menţine prin dioda de nul, D_s — fig. 5c)

Rezultă :

$$\Delta i(t) \simeq - \Delta i_C(t), \tag{10}$$

sau :

$$I(0) - I(t_f) \simeq I_{Max}, \tag{11}$$

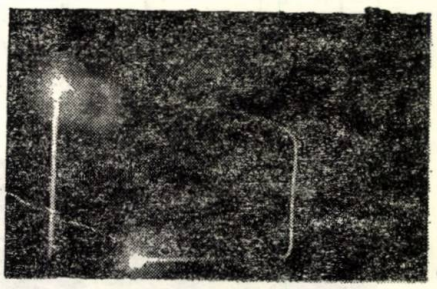
în care I_{Max} este curentul maxim de colector.

Din relaţiile (9) şi (11) rezultă :

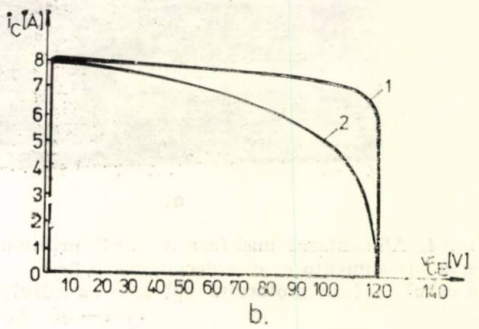
$$I_{Max} \simeq C \frac{V_{CE\,Max}}{t_f}, \tag{12}$$

pe baza căreia se dimensionează condensatorul :

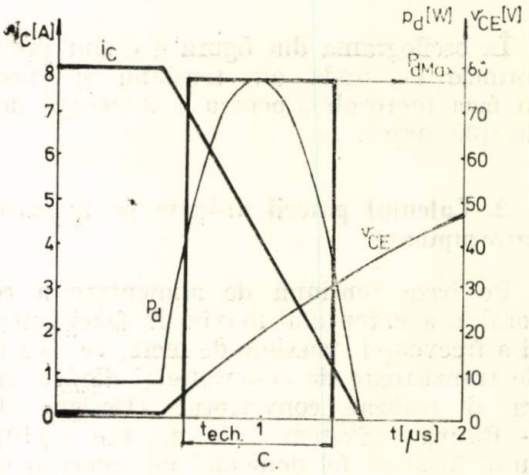
$$C \geqslant \frac{I_{Max} t_f}{V_{CEO}}. \tag{13}$$



a.



b.



c.

Fig. 6. Reducerea puterii disipate pe tranzistorul întreruptor al fazei MPP :
a — caracteristica $i_C - v_{CE}$ obţinută cu un contactor fără grup RC. Pe orizontală : v_{CE} — 20 V/div, pe verticală i_C — 2A/div ; b — aducerea caracteristicii $i_C - v_{CE}$ în limitele SOA. Curba 1 : $RC = 0{,}1\ t_f$, curba 2 : $RC = 0{,}3\ t_f$; c — determinarea puterii disipate la blocare.

Constanta de timp RC trebuie aleasă astfel ca procesele tranzitorii încărcare — descărcare să nu depăşească 1% ... 5% din perioada minimă cu care este comutat tranzistorul.

În figura 6b, obţinută cu calculatorul, este prezentată influenţa condensatorului slow-rise asupra caracteristicii $i_C - v_{CE}$ a tranzistorului.

Puterea de vîrf disipată constituie criteriul de alegere a tranzistorului-întreruptor. Această putere este calculată în figura 6c. Este reprezentată numeric comutaţia unui singur tranzistor-întreruptor, valorile puterilor disipate pe celelalte tranzistoare fiind practic aceleaşi.

Cu metoda prezentată s-a proiectat şi realizat echipamentul din figura 7, obiect al unui con-

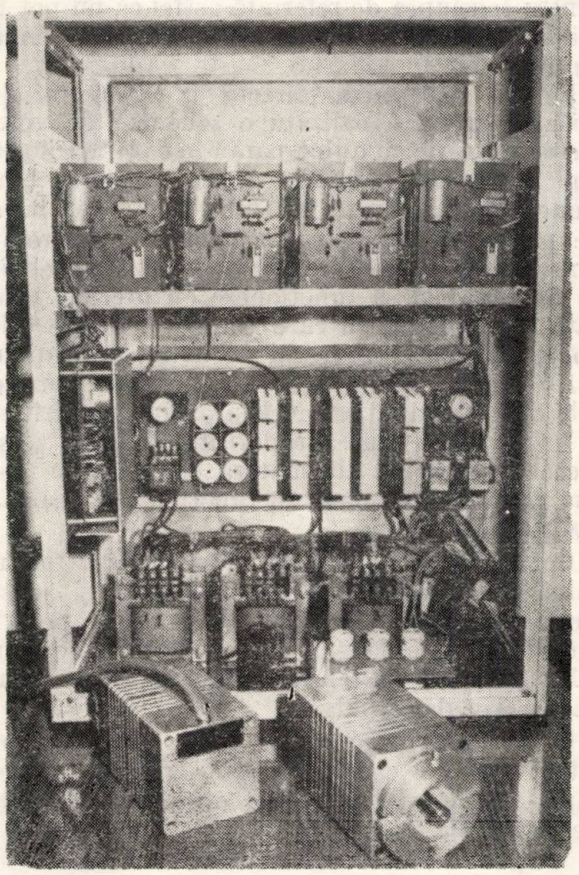


Fig. 7. Echipamentul de comandă şi motoarele pas cu pas pentru maşina de găurit în două coordonate.

tract cu întreprinderea de utilaj greu „Progresul" din Brăila [9]. Pentru alimentarea unei faze a motorului a fost folosit convertorul cu două tensiuni din figura 1e.

3. Concluzii

Simularea numerică a sistemului convertor-motor pune la dispoziţia proiectantului un instrument util şi precis. Testarea modelului în condiţii din cele mai diverse este convenabilă în raport cu experimentările costisitoare; realizarea părţilor mecanice, a meselor de poziţionare, implică cheltuieli mari de materiale şi manoperă.

Modelul sistemului permite determinarea:

— profilului celui mai rapid accelerare/decelerare pe care îl poate urmări motorul, la un cuplu rezistent dat sau pentru o anumită lege de variaţie a cuplului rezistent;

— profilului frecvenţă-timp care aplicat motorului conduce la timpul minim de răspuns în poziţionare sau la reversarea mişcării;

— cu modificări minime în program, se poate simula uşor funcţionarea MPP în circuit închis, caz în care regimul curenţi-tensiuni se modifică esenţial; pe baza relaţiilor date în capitolul 2 se determină şi în acest caz puterile disipate pe tranzistoarele-întreruptoare.

Bibliografie

[1] *Voiculescu, E.* Calculul convertorului pentru alimentarea motoarelor pas cu pas, pe baza simulării numerice a sistemului convertor-motor. În vol. Comunicările simpozionului de maşini electrice asociate cu convertoare statice, Bucureşti, nov. 1983.

[2] *Voiculescu, E., Palaghiţă, N., Albert, L.* Computer-aided design of step motor driver. Comunicată la a IV-a Conferinţă naţională de acţionări electrice. Proceedings. vol. I. Craiova, sept. 1984.

[3] *Kuo, B. C., Kelemen, A .,Crivii, M., Trifa, V.* Sisteme de comandă şi reglare incrementală a poziţiei, Bucureşti, Editura Tehnică, 1981.

[4] * * * Electric motors and accessories. Philips data handbook. Part 6, May 1981, printed in The Netherlands.

[5] * * * Schrittmotorsteuerungen PGSJ bis zu 2 000 W. Phytron Elektronik GmbH, 1984.

[6] *Beer, L. R., Slicker, J.M.* Etage d'attaque de moteur pas a pas. Brevet français d'invention N° 79 21817/1980.

[7] *Voiculescu, E.* Simulare numerică şi rezultate experimentale în comanda motoarelor pas cu pas. Referat de doctorat. I.P. Cluj-Napoca, 1982.

[8] * * * Components and know-how for SMS. MBLE, Bruxelles, 1981.

[9] *Slavu, M., Szöcs, A., Voiculescu, E., Székely, A.* Acţionarea maşinilor-unelte cu echipamente de comandă numerică cu motoare pas cu pas. Vol. Ses. tehn. — şt. din iulie 1979, IUG Progresul, Brăila.

CZ 621.3 : 621.317.7

TEHNICA TENSIUNILOR ÎNALTE
DIVIZOARE DE TENSIUNE

Măsurarea numerică directă a raportului divizoarelor de înaltă tensiune

ANDREI MARINESCU, ŞTEFAN CATANĂ* — CRAIOVA

Introducere

În prezent, prin standarde naţionale [1] şi internaţionale [2, 3] sînt normate atît performanţele, cît şi tehnica de determinare a parametrilor divizoarelor de tensiune utilizate în laboratoarele de înaltă tensiune şi de mare putere sau la măsurători directe în reţea.

Ridicarea caracteristicii de frecvenţă şi a răspunsului la impuls—treaptă dau constructorului de divizoare posibilitatea de a regla şi, în final, de a atesta domeniul de utilizare ca forme de tensiuni ale divizorului.

Aceasta înseamnă că utilizatorului i se garantează posibilitatea de măsurare a valorii absolute a tensiunii înalte pe baza raportului de divizare şi încadrare în limitele de erori de ±3%, tolerate de CEI.

În practică, din diferite motive cum sînt variaţia temperaturii, poluarea, efectul de proximitate diferit de la un montaj la altul, înlocuirea cablului coaxial de măsură sau a rezistenţelor de adaptare etc., raportul de divizare poate să se modifice şi să afecteze în măsură mai mare precizia de măsurare decît modificarea timpului de răspuns, mai ales cînd se lucrează cu impulsuri de formă standard.

De aceea în [2] se precizează că raportul de divizare trebuie să poată fi determinat cu o precizie de cel mult 1% atît pentru tensiuni alternative, cît şi de impuls.

Această cerinţă este greu de rezolvat practic prin metodele uzuale de măsurare a rezistenţei sau impedanţei braţelor de IT şi JT ale divizoarelor sau prin metoda celor două voltmetre mai ales dacă se doreşte ca măsurătoarea de raport să se facă în condiţiile experienţei (montajul real de încercare).

De aceea în cadrul Laboratorului de înaltă tensiune al Centrului de cercetare „Electroputere" s-a elaborat un aparat pentru măsurarea numerică directă a raportului de divizare care va fi descris în cele ce urmează.

1. Principiul metodei de măsurare

Se cunoaşte că la măsurarea numerică a tensiunilor continue pe baza principiului de integrare cu dublă pantă se obţine ca rezultat raportul dintre tensiunea de măsurat şi tensiunea de referinţă. La voltmetrele numerice obişnuite tensiunea de referinţă este menţinută constantă şi în funcţie de precizia de menţinere constantă a acesteia rezultă şi precizia de măsurare a aparatului.

Voltmetrele numerice uzuale nu au o intrare pentru tensiunea de referinţă astfel că nu pot fi utilizate pentru măsurarea raportului a două tensiuni.

Pentru măsurarea directă a raportului de divizare trebuie realizată o schemă de voltmetru numeric cu dublă pantă în care tensiunea aplicată pe partea de IT a divizorului să fie tensiunea de măsurat, iar tensiunea rezultată pe partea de JT a divizorului să aibă rolul tensiunii de referinţă. Schema realizată trebuie să fie capabilă să funcţioneze cu precizie ridicată în condiţiile în care raportul dintre cele două tensiuni este destul de mare, de ordinul a $10^3 - 10^4$, în timp ce la un voltmetru uzual cele două tensiuni au acelaşi ordin de mărime.

În plus, măsurarea raportului trebuie să se facă sub tensiune alternativă pentru a se realiza condiţii apropiate de funcţionarea reală a divizorului.

Conform [3] se admite determinarea raportului de divizare la joasă tensiune şi joasă frecvenţă dacă divizorul este garantat pentru un domeniu mai larg de frecvenţă decît frecvenţele conţinute în tensiunea de măsurat alternativă sau de impuls.

O valoare acceptabilă a frecvenţei tensiunii alternative la care se poate face măsurarea raportului de divizare se consideră frecvenţa de 1 000 Hz.

2. Descrierea schemei-bloc a aparatului de măsurare numerică a raportului de divizare tip AMRD

Aparatul cu schema-bloc din figura 1 este alcătuit dintr-un generator de tensiune alternativă *1*, un bloc de adaptare şi conversie *2*, voltmetrul numeric propriu-zis *3*, un calibrator intern *4* şi o sursă de alimentare *5*.

Generatorul de tensiune sinusoidală *1* produce o tensiune cu frecvenţa de 1 kHz şi amplitudinea de 60 V vîrf-vîrf.

Datorită principiului de măsurare nu se impun condiţii severe pentru menţinerea constantă a amplitudinii şi frecvenţei tensiunii de excitaţie.

* Dr. ing. *Marinescu, A.*, ing. *Catană, Şt.* — CCSIT — „Electroputere", Laboratorul de înaltă tensiune.

Tensiunea alternativă produsă U_1 este aplicată la borna de IT a divizorului și, simultan, pe unul din cele două blocuri de adaptare și conversie *2*. Tensiunea de pe brațul de JT al divizorului U_2 este aplicată celuilalt canal din blocul *2*.

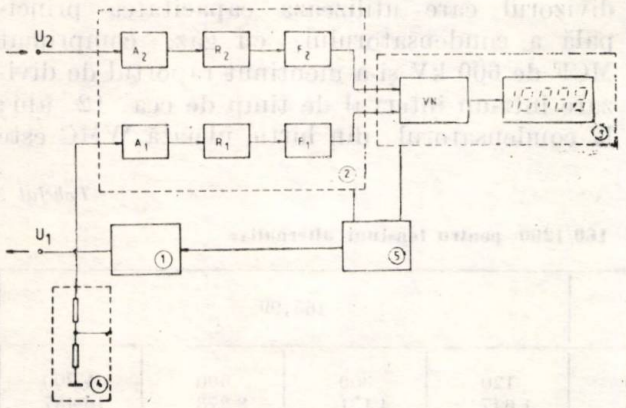


Fig. 1. Schema-bloc a aparatului pentru măsurarea directă a raportului de divizare la divizoarele de înaltă tensiune. Explicații în text.

În blocul *2* se realizează, în funcție de raportul de divizare prezumat, alegerea manuală sau automată a domeniului de măsurare prin amplificatoarele A_1 și A_2, redresarea de precizie a valorii medii în redresoarele R_1 și R_2 și filtrarea suplimentară în filtrele active F_1 și F_2.

Cele două tensiuni continue astfel obținute se aplică voltmetrului numeric *3*, care afișează direct raportul de divizare.

În scopul verificării periodice a aparatului și calibrării sale exacte se folosește un divizor rezistiv *4* realizat din rezistențe de precizie cu coeficient de temperatură neglijabil.

Alimentarea întregului aparat se poate face de la baterii sau din rețea.

3. Caracteristicile tehnice principale ale aparatului AMRD

— domeniul nominal de măsurare a raportului de divizare 10 — 100 ; 100 — 1 000 ; 1 000 — 10 000 ;
— domeniul extins de măsurare a raportului de divizare 10 000 — 19 999 ;
— alegerea domeniului de măsură : manuală ;
— impedanța minimă a divizorului de încercat 10 nF sau 10 kohmi ;
— frecvența tensiunii de excitație : 1 kHz ;
— voltmetru numeric integrat cu $4\frac{1}{2}$ digiți ;
— afișare cu diode luminescente — 19 999 ;
— calibrator intern pentru toate domeniile de măsurare ;
— precizia de măsurare a raportului de divizare : 0,5% ($k = 10 \div 10\,000$) ;
— precizia de măsurare pentru domeniul extins 1% ($k = 10\,000 - 19\,999$) ;
— alimentare din rețea 220V 50 Hz, 10 VA ;
— dimensiuni : 375 × 200 × 175 mm.

4. Rezultate experimentale

Încercările preliminare ale aparatului au avut scopul de a testa stabilitatea indicației aparatului în timp pe unul și același divizor. La o durată de urmărire a indicației de 3 minute, abaterea este sub 0,1% iar la o durată de urmărire de 1 pînă la 3 ore nu depășește 0,2%.

Aparatul a fost testat atît în laboratorul ecranat electromagnetic, cît și în cîmpul exterior de încercări în ambele cazuri cu alimentare directă din rețea (fără transformator de izolare) și nu s-au constatat influențe perturbatoare asupra indicației.

În continuare aparatul a fost utilizat pentru determinarea directă a raportului de divizare la toate tipurile de divizoare existente în laboratorul de IT de la CCSIT-EP și anume : divizoare capacitive pentru tensiuni alternative și de impuls, divizoare rezistive compensate și divizoare RC serie cu rapoarte de divizare cuprinse între 500 și 20 000.

În tabelul 1 se prezintă comparativ rezultatele obținute la măsurarea divizorului rezistiv compensat TuR tip SMR 10/770 pentru impulsuri de tensiune de tip atmosferic. Măsurătorile s-au făcut la o distanță față de perete de 1,5 ori mai mare decît înălțimea divizorului cu un cablu coaxial de 21 metri lungime și impedanța caracteristică de 75 ohmi.

Tabelul 1

Măsurători pe divizorul ohmic compensat tip SMR 10/770 pentru tensiuni de impuls atmosferic

Raportul de divizare			Erori, %	
K_n	K_m	K_r	$e_{m,n}$	$e_{m,r}$
499	512,1	504,5	2,6	1,5
749	771,8	757,6	3,1	1,9
999	1 036,4	1 012,4	3,7	2,4

S-au folosit următoarele notații :

K_n — raportul de divizare nominal calculat din valorile indicate în documentația tehnică a divizorului ;
K_m — raportul de divizare măsurat cu aparatul AMRD ;
K_r — raportul de divizare calculat din valorile măsurate cu o punte Wheatstone de precizie la aceeași temperatură ca și măsurarea directă a lui K_m ;
$e_{m,n}$ — eroarea relativă între K_m și K_n ;
$e_{m,r}$ — eroarea relativă între K_m și K_r.

În tabelul 2 sînt date rezultatele măsurătorilor directe cu AMRD la divizorul capacitiv tip WMC 160/1 200 de la cascada de 1 200 kV, iar în tabelul 3 rezultatele de la măsurarea divizorului capacitiv format cu condensatorul etalon MCF 60/600.

Ambele divizoare se folosesc pentru măsurarea tensiunilor alternative și au brațul de joasă tensiune comutabil plasat la capătul unui cablu coaxial cu lungimea de cca 20 m, a cărui capacitate intervine direct în valoarea raportului de divizare (fig. 2).

rare a raportului datorită comportării reale a cablului coaxial (prezența rezistenței și inductivității parazite). Eroarea este negativă și egală cu cca 0,01%/metru liniar cablu coaxial la frecvența de 1 kHz.

După cum se observă din datele prezentate divizorul care utilizează capacitatea principală a condensatorului cu gaz comprimat MCF de 600 kV și-a menținut raportul de divizare într-un interval de timp de cca 12 ani; la condensatorul din hîrtie uleiată WMC este

Tabelul 2

Măsurători pe divizorul capacitiv WMC 160/1200 pentru tensiuni alternative

C, pF	357,4				165,99			
U, kV	60	150	300	600	120	300	600	1 200
K_n	823	2 063	4 109	8 266	1 647	4 131	8 278	16 487
K_m	912	2 188	4 340	8 529	1 755	4 347	8 601	16 143
$e_{m,n}$ (%)	10,8	6,0	5,6	3,2	6,5	5,2	3,9	−2,1

Tabelul 3

Măsurători pe divizorul capacitiv MCF 60/600 pentru tensiuni alternative

C, pF	57,75				15,08			
U, kV	60	150	300	600	60	150	300	600
K_n	839	2 103	4 212	8 428	824	2 091	4 198	8 415
K_m	852	2 118	4 233	8 455	862	2 132	4 247	8 485
$e_{m,n}$(%)	1,55	0,71	0,5	0,32	4,5	1,96	1,16	0,84

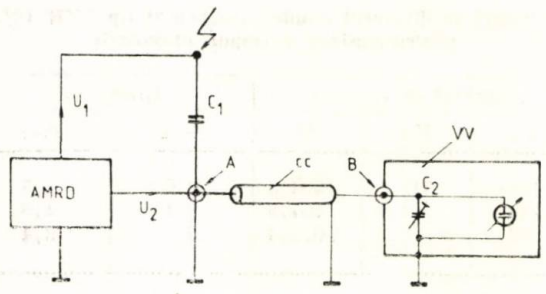


Fig. 2. Schema de utilizare a aparatului AMRD pentru determinarea raportului la un divizor capacitiv de tensiune alternativă cu brațul de joasă tensiune conectat printr-un cablu coaxial lung. *CC*-cablu coaxial; *VV*-voltmetru de vîrf; *A*, *B* — puncte de măsură pe partea de joasă tensiune: C_1, C_2 — elementele divizorului de încercat.

Din figura 2 rezultă că există două posibilități de conectare a aparatului AMRD și anume în punctul *A* sau *B*.

Legarea în punctul *A* are avantajul față de legarea în punctul *B* că montajul de măsurare nu introduce nici un fel de elemente suplimentare de legătură însă în cazul cablurilor lungi (peste 50 m) devine sesizabilă o eroare de măsu-

necesară o corecție în întreg domeniul de măsurare.

Deosebit de eficientă se dovedește utilizarea aparatului AMRD și la verificarea operativă a divizoarelor realizate ocazional pentru măsurători speciale de laborator. În asemenea situații se verifică mai întîi comportarea divizorului prin metoda comparației cu un divizor etalon (cu răspuns cunoscut) și apoi se determină raportul de divizare cu AMRD.

5. Concluzii

Aparatul pentru măsurarea raportului de divizare AMRD s-a dovedit un dispozitiv de mare utilitate pentru un laborator de cercetare, datorită posibilității de măsurare directă și operativă în schema completă de încercare și măsurare.

Aparatul se poate utiliza pentru verificarea influenței temperaturii și poluării mai ales la instalațiile care funcționează în aer liber.

Stabilitatea indicației la măsurători repetate în aceleași condiții este sub 0,2%, iar posibilitatea de calibrare pe fiecare domeniu de

măsurare cu divizorul etalon inclus în aparat mărește siguranța menținerii preciziei de măsurare.

Nu s-a constatat influența alimentării directe din rețea și deci necesitatea alimentării de la o sursă separată.

Rezultatele măsurătorilor au fost atestate prin măsurători comparative cu alte divizoare de precizie cum sînt divizoarele realizate cu condensatoare etalon cu gaz comprimat.

Bibliografie

[1] STAS 6669/3-79 Încercări la înaltă tensiune.
[2] IEC 60-3/1976 High Voltage test techniques. Part 3 : Measuring devices.
[3] IEC 60-4/1977 High Voltage test techniques. Part 4 : Application guide for measuring devices.

Informații

Sistem RFT de radiocomunicații mobile aplicabil trenurilor de cale ferată pentru exploatare feroviară foarte economică

Sistemul RFT de radiocomunicații mobile pentru trenuri de cale ferată este cunoscut pentru schimbul de informații atît între serviciile fixe de cale ferată, cît și între trenurile în circulație pe căile ferate.

Sistemul permite stabilirea legăturilor de radiocomunicații cu sau fără apel selectiv, a apelurilor prioritare de primire și transmitere a mesajelor codificate.

Sistemul RFT de radiocomunicații mobile asigură permanența unor informații privind pozițiile trenurilor, profilul liniei și configurațiile semnalelor. Cu ajutorul acestuia dispecerul de linie poate lua, în timp util, măsuri de reglementare a tuturor perturbațiilor eventuale.

Beneficiind de posibilitățile oferite de sistemul de radiocomunicații mobile RFT, ca și de sistemul de automatizare a transmisiei mesajelor și anunțurilor codificate, exploatările feroviare pot obține raționalizări sensibile în cazurile :

— de trafic intens cu exploatarea capacității de transport ;

— de creștere a permeabilității liniilor și vitezelor trenurilor ;

— de reducere a intervalelor de oprire pe linie și stabilire a poziției optime a trenurilor.

Acești factori contribuie în egală măsură la economia de energie și prezintă un interes deosebit pentru administrațiile căilor ferate.

În vederea creșterii traficului internațional de trenuri de cale ferată, circulînd pe la frontiere, sistemul RFT de radiocomunicații pentru trenurile de cale ferată este cunoscut ca fiind realizat în conformitate cu regulile de compatibilitate stabilite de Uniunea Internațională a Căilor Ferate (UIC) și de Organizația pentru Cooperare a Căilor Ferate (OCCF).

Greta Andrei

Noua mașină de scris Robotron S 6011

În luna noiembrie a avut loc la București o întîlnire între sectorul Robotron al Agenției Comerciale a R.D.G. la București și redactorii presei tehnice de specialitate din capitală, în scopul prezentării noii mașini electronice de scris de tip Robotron S 6011.

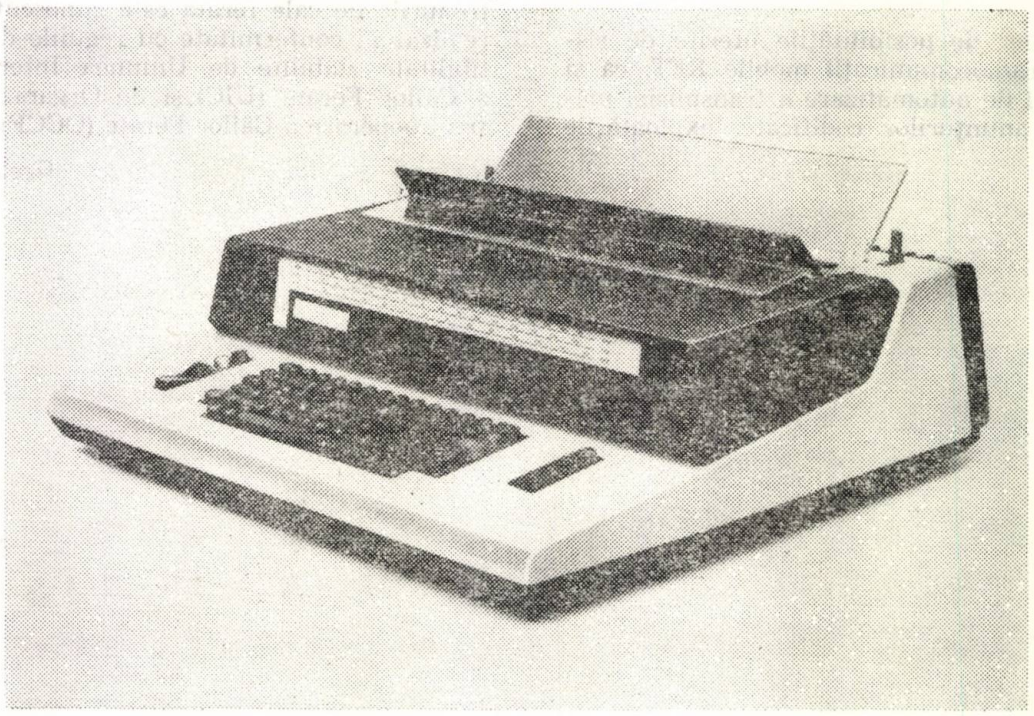
Cu acest prilej Bernd Witte, directorul Reprezentației Robotron în România a prezentat amănunțit componența și funcționabilitatea noii mașini electronice de scris tip Robotron S 6011 (figura 1).

Din cele demonstrate, ca și din prospectul pus la dispoziție de firma Robotron a reieșit că, pe lîngă mașinile mici de scris, binecunoscute în lume, Combinatul Robotron oferă și modele de mașini electronice de scris, puternice, care prin dotările lor utile, verificate în practică, ușurează chiar și cele mai dificile activități de scriere, operații pe care acestea le execută într-un timp mult mai scurt.

Mașina electronică de scris Robotron S 6011 deține toate calitățile așteptate de la această clasă de aparate destinate scrierii. Transportul automat al hîrtiei pînă la linia corectă, sublinierea automată a textului care trebuie scos în evidență, scrierea distanțată, ca și funcția de text mobil eliberează pe utilizator de multă muncă de rutină. Corectarea imediată a textului greșit, ca și relocarea permit redactarea unui text original corect. Rozeta portcaracter este ușor schimbabilă și permite folosirea mai multor tipuri de scriere în cele mai diverse proporții.

Pe lîngă avantajele enumerate, mașina electronică de scris Robotron S 6011 mai posedă patru memorii de format și 10 memorii de constante. Operațiile de deplasare, centrare, tabulare zecimală, ca și scrierea economică atrag după sine o aranjare elegantă în pagină.

Furnizorul livrează această mașină, opțional, și cu o interfață serială de tip V 24, ceea ce permite ca mașina să preia și funcția de receptor de date, fapt care o face utilizabilă și ca mașină de scris, și ca imprimată, cu o scriere aspectuoasă.



Caracteristici tehnice :

— Sistemul de imprimare	— Margaretă
— Viteza de scriere	— 12 la 17 caractere/s
— Caractere disponibile	— 100
— Selecţia spaţială	— 10 Pica ; 12 Elite ; 15 Micron proporţional
— Benzi în casetă	— diferite tipuri
— Memoria de constante	— 10 memorii pentru părţi constante de text în total 1 kByte şi 4 memorii de formate 360 Byte.
— Memorie de corectare	— 200 caractere de corectare imediat şi retur pe poziţia iniţială a clapei.
— Facilităţi de utilizare	— tabulator orizontal ; — tabulator vertical înainte ; — tabulator vertical înapoi ; — tabulator zecimal ; — poziţie de margine ; — centrare automată ; — sublinierea textului-automată ; — scriere distanţată ; — scriere economică ; — memorizarea primei şi ultimei linii.
— Consum de curent	— 70 W.
— Dimensiuni	— înălţime : 200mm ; — lungime : 590 mm ; — adîncime : 550 mm ; — greutate : 22 kg.

G. Andre

Abonaţi-vă la

revista ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA!

Citind cu regularitate revista „Electrotehnica, electronica şi automatica" veţi fi bine informaţi asupra activităţii desfăşurate în sectorul electrotehnicii, electronicii şi automaticii din ţara noastră, ca şi asupra noutăţilor din domeniu de peste hotare.

Revista vă informează asupra realizărilor de prestigiu obţinute de unităţile de profil din ţara noastră, asupra economiei de energie şi reducerii consumurilor specifice de materiale, a creşterii fiabilităţii produselor, valorificării resurselor naturale, a tehnologiilor noi, a materialelor electroizolante etc.

★

Toate aceste informaţii urmăresc reflectarea cerinţelor rezultate din documentele de partid şi de stat în probleme privind sectoarele de care se ocupă revista.

Revista *„ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA“ (E.E.A.)*, organ al Ministerului Industriei de Maşini-Unelte, Electrotehnică şi Electronică apare în cadrul Oficiului de informare documentară al Institutului de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică *(I.C.P.E.)*. Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 şi 695 plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poştal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 3017.7.02.01 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii ca şi pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA se pot adresa întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export-import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001. — Telex 01.12.26

Tiparul :
Intreprinderea „Informaţia“
Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 2682

1985 MAY 2 21

E 2040/1

04

R 1985 APR 2

CC

REFERALVA

(Elektrotech.)

Energia

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI ANUL 33 • NR. 2 • FEBRUARIE 1985

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

Anul 33 Nr. 2 februarie 1985

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 621.313.3 : 621.3.013.8

GENERATOR DE TENSIUNE-FRECVENŢĂ
EXCITATOR ELECTROMAGNETIC DE VIBRAŢII

Darie, S., Bălan, H., Palaghiţă, N. : **Instalaţie pentru testarea la vibraţii mecanice a echipamentelor.**

Partea a II-a : Comanda electronică a generatorului de alimentare a excitatorului de vibraţii.

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, feb 1985, p. 51

Lucrarea prezintă soluţia adoptată şi realizată pentru dispozitivul de comandă al generatorului de tensiune cu frecvenţă şi tensiune variabilă, utilizat pentru alimentarea excitatorului de vibraţie de tip electromagnetic, în variantă inerţială. Sînt scoase în evidenţă criteriile care au dus la soluţia de reglaj adoptată ; se descrie modul de funcţionare a schemei de comandă, alegerea şi acordarea regulatorului de tensiune, precum şi proiectarea convertorului tensiune-frecvenţă.

CZ 621.314.2 : 512

CONVERTIZOARE DE FRECVENŢĂ
EŞANTIONARE UNIFORM SIMETRICĂ
ALGORITM DE CALCUL

Solacolu, C. ş.a. : **Convertizoare statice de frecvenţă cu tiristoare cu stingere pe poartă (GTO) cu modulaţie în durată (PWM), comandate prin sistem microprocesor.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, feb 1985, p. 56

Articolul prezintă problemele specifice privind proiectarea şi realizarea convertizoarelor statice de frecvenţă cu modulaţie în lăţime şi care utilizează pe partea de forţă tiristoare cu stingere pe poartă (GTO). Comanda invertorului se realizează cu ajutorul unui microprocesor 8085 utilizînd ca strategie de comutaţie eşantionarea uniform simetrică. Algoritmii de calcul, programele de lucru şi rezultatele experimentale încheie lucrarea.

CZ 621.316.5 : 621.317.39

CONTACT
SUPRAFAŢĂ DE CONTACT
FORŢĂ DE ATRACŢIE

Suciu, I. : **Suprafaţa de contact magnetic şi solicitarea magnetică a acesteia (II).**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, feb 1985, p. 64

Lucrarea constituie continuarea articolului „Contactul magnetic — un nou element de circuit şi catastrofa magnetică în întrefier (I)", publicat în revista E.E.A. — Electrotehnica, Bucureşti, nr. 5, iulie 1984 şi se referă, prin analogie formală cu contactul electric, la descrierea suprafeţei de contact magnetic şi la ilustrarea solicitării magnetice a acestei suprafeţe, care influenţează asupra valorii forţei de atracţie exercitată între piesele polare ale unui circuit magnetic.

CZ 621.3.018.44; 621.313.045.13

MOTOR DE C.C.
REGIM DINAMIC
VÎRF DE CURENT

Ţigler, M., Cănescu, S. : **Regimurile dinamice ale sistemelor de acţionare electrică cu maşini de c.c.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, feb 1985, p. 70

Studiul regimului dinamic al motoarelor de c.c. cu excitaţie independentă, evidenţiază valori ridicate ale curentului din circuitul rotoric. În lucrare se determină curentul rotoric în regim tranzitoriu pentru motoare de c.c. cu excitaţie independentă fabricate în ţară şi se fac recomandări privind utilizarea aparaturii de comandă necesare.

CZ 621.313.2

MAŞINĂ DE C.C.

Drăgănescu, Gh. O. : **Asupra posibilităţilor de determinare, pe cale experimentală, a asimetriei întrefierului la maşina de curent continuu cu rotorul în mişcare de rotaţie.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, feb 1985, p. 73

Se prezintă o metodă pentru determinarea, pe cale experimentală a asimetriei lăţimii întrefierului polilor principali şi auxiliari la maşina asincronă cu rotorul în mişcare de rotaţie. Principiul metodei constă în adoptarea amplitudinii armonicii de dantură a inducţiei din întrefier, ca mărime dependentă de valoarea întrefierului, şi realizarea unui contur în care armonica de dantură a inducţiei determină o t.e.m. a cărei valoare depinde de lăţimea întrefierului.

CZ 621.359.4 : 621.318.7. 537.2

AEROSOLI
FILTRARE
ELECTROSTATICĂ

Botez, D.D.: **Electrofiltru pentru încăperi industriale EF 1500-P2.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, feb 1985, p. 79

În articol este prezentat un electrofiltru destinat purificării locale a atmosferei în încăperile industriale, punîndu-se în evidenţă elementele teoretice ce au stat la baza proiectării, soluţiile tehnice adoptate şi avantajele filtrării aerului cu ajutorul electrofiltrelor.

CZ 621.315.627

TRECERI IZOLANTE
CALCUL DE PROIECTARE

Păduraru, N. ş.a. : **Calculul trecerilor izolante tip condensator.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, feb 1985, p. 90

Lucrarea prezintă, pe baza analizei principalelor aspecte teoretice referitoare la calculul trecerilor izolante, o metodică de proiectare a trecerilor izolante de tip condensator cu un program pe calculatorul electronic. Sînt prezentate rezultate ale proiectării, realizării tehnologice şi încercărilor de izolaţie ale aparatelor obţinute.

CZ 621.377.6 : 512

BIBLIOTECĂ MATEMATICĂ RAPIDĂ
TREI OCTEŢI VIRGULĂ MOBILĂ
MICROPROCESOARE DE 8 BIŢI

Tatoiu, V. : **BIMAR — Bibliotecă MAtematică Rapidă pentru sisteme de calcul în timp real utilizînd microprocesoare de 8 biţi.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, feb 1985, p. 94

Lucrarea prezintă o bibliotecă matematică rapidă, în binar virgulă mobilă cu mantisa pe 2 octeţi, cuprinzînd subprograme de conversii, de calcul al celor 4 operaţii aritmetice şi al 8 funcţii de bază, precum şi de transfer de date. Biblioteca este concepută ca un modul independent care conţine totalitatea subprogramelor necesare pentru scrierea de programe pentru sisteme de calcul în timp real utilizînd microprocesoare de 8 biţi.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. ing. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei R. S. România ; prof. dr. ing. C. APETREI ; acad. dr. doc. şt. tehn. ing. A. AVRAMESCU ; ing. I. BĂTRÎNA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. N. BOŢAN ; dr. ing. C. BULUCEA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. S. CĂLIN ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. T. DORDEA ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. S. FLOREA ; prof. dr. ing. M. HĂNGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; prof. dr. ing. S. PUŞCAŞU ; ing. M. SÎRBU ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNASESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI

Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.313.3: 621.3.013.8

ГЕНЕРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ-ЧАСТОТЫ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ВИБРАЦИОННЫЙ
ВОЗБУДИТЕЛЬ

Дарие, С., Бэлан, Н., Палагицэ, Н.: **Установка для контроля механических вибраций оборудования. Часть вторая: Электронное управление генератором питания вибрационного возбудителя.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 2, февраль 1985, стр. 51

Работа представляет принятный и реализованный раствор для устройства управления генератором напряжения с переменной частотой и переменным напряжением, использованный для питания вибрационного возбудителя электромагнитного типа, в инертном варианте. Были выявлены критерии, приводимые к принятному раствору регулирования; описывается режим работы, схемы управления, выбор и согласование регулятора напряжения, а также и проектирование преобразователя напряжения-частоты.

УДК 621.314.2: 512

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ
РАВНОМЕРНОСИМЕТРИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ
ОБРАЗЦОВ
АЛЬГОРИТМЫ РАСЧЁТА

Солаколу, К. и др.: **Статические преобразователи частоты с тиристорами с гашением затвора [GTO] с продолжительной модуляцией (PWM], управляемые системой микропроцессора.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 2, февраль 1985, стр. 56

Работа представляет специфические вопросы по проектированию и изготовлению статических преобразователей частоты с модуляцией при ширине, использующие в часть силы тиристоры с гашением затвора (GTO). Управление инвертёром осуществляется при помощи одного микропроцессора 8085, используя, как стратегия коммутации, равномерносиметрическое получение образцов. Альгоритм расчёта, программы работы и экспериментальные результаты заключают работу.

УДК 621.316.5: 621.317.39

КОНТАКТ
КОНТАКТНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ
СИЛА ПРИТЯЖЕНИЯ

Сучу, И.: **Поверхность магнитного контакта и её магнитное требование [II].**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 2, февраль 1985, стр. 64

Работа является продолжением работы ,,Магнитный контакт — новый элемент схемы и магнитная катастрофа в воздушном зазоре (I)'', публикованная в журнале Е.Е.А. — Electrotehnica, Bucureşti, № 5, июль 1984 г и относится к описанию поверхности магнитного контакта и изображению магнитного требования этой поверхности при помощи формальной аналогии с электрическим контактом, каторая влияет на значение силы притяжения между полярными частями одной магнитной схемы.

УДК 621.3.018.44: 621.313.045.13

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
ПИК ТОКА

Циглер, М., Кэнеску, С.: **Динамические режимы систем электрического действия с двигателями постоянного тока.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 2, февраль 1985, стр. 70

Изучение динамического режима двигателей постоянного тока с независимым возбуждением выявляет повышенные значения тока роторной схемы. В работе определяется роторный ток в переходном режиме для двигателей постоянного тока с независимым возбуждением, изготовленных в стране и сделаются рекомендации по применению необходимой аппаратуры управления.

УДК 621.313.2

МАШИНА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Дрэгэнеску, Г. О.: **О возможностях определения, по экспериментальному пути, асимметрии воздушного зазора машины постоянного тока с ротором в вращательном движении.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 2, февраль 1985, стр. 73

Представлен метод для определения, по экспериментальному пути, асимметрии ширины воздушного зазора основных и неосновных полюсов в асинхронной машине с ротором в вращательном движении. Принцип метода состоит в принятии амплитуды гармоники зуб индукции воздушного зазора как значение, зависимое от значения воздушного зазора, и в осуществлении цепи, в которой гармоника зуб индукции определяет электродвижущее напряжение, значение которого зависит от ширины воздушного зазора.

УДК 621.359.4: 621.318.7: 537.2

АЭРОЗОЛИ
ФИЛЬТРАЦИЯ
ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Ботез, Д. Д.: **Электрофильтр для промышленных помещений EF—1 500 P2.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 2, февраль 1985, стр. 79

В работе представлен электрофильтр, предназначенный для местной очистки атмосферы в промышленных помещениях, выявляя теоретические элементы, ставшие на основе проектирования, технические решения и преимущества фильтрации воздуха при помощи электрофильтров.

УДК 621.315.627

ИЗОЛИРУЮЩИЕ ПЕРЕХОДЫ
РАСЧЁТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Пэдурару, И. и др.: **Расчёт изолирующих переходов типа конденсатора.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 2, февраль 1985, стр. 90

Работа представляет, на основе анализа основных теоретических аспектов относительно расчёта изолирующих переходов, методику проектирования изолирующих переходов типа конденсатора с программой ЭВМ. Представлены результаты проектирования, технологического изготовления и испытаний изоляции полученных приборов.

УДК 621.377.6 :512

БЫСТРАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА
ТРИ БИТА ПЛАВАЮЩЕЙ ЗАПЯТОЙ
8-ЫЕ РАЗРЯДНЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ

Татою, В.: **Быстрая математическая библиотека для вычислительных систем в реальном масштабе времени с применением 8 разрядных микропроцессоров.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 2, февраль 1985, стр. 94

В настоящей работе представлена быстрая математическая библиотека в двоичном коде с плавающей запятой и мантиссой в 2 бита. Она содержит подпрограммы преобразования вычислительные подпрограммы с 4 аритметическими операциями и 8 основным функциями, а также с перемещением данных. Библиотека создана как самостоительный модуль, содержащий совокупность подпрограмм, необходимых при написании программ для вычислительных систем в реальном масштабе времени с применением 8-разрядных микропроцессоров.

INHALT

DK 621.313.3 : 621.3.013.8

SPANNUNGS-FREQUENZGENERATOR
ELEKTROMAGNETISCHER
SCHWINGUNGSRERREGER

Darie, S., Bălan, H., Palaghiță, N. : **Anlage für die Prüfung bei mechanischen Schwingungen der Ausrüstungen. II. Teil : Die elektronische Steuerung des Versorgungsgenerators des Schwingungserregers.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 2, Feb 1985, S. 51

Die Arbeit beschreibt die Lösung, die für die Steuervorrichtung des Spannungsgenerators mit variabler Frequenz und Spannung angenommen und verwirklicht wurde, eine Steuervorrichtung, die für die Versorgung des Schwingungserregers von elektromagnetischem Typ, in Trägheitsvariante, eingesetzt wird. Es werden die Kriterien hervorgehoben, die zur angenommenen Einstellungslösung geführt haben ; es wird die Funktionsweise des Befehlsschemas, die Wahl und der Abgleich des Spannungsreglers sowie der Entwurf des Spannungs-Frequenzumformers beschrieben.

DK 621.314.2 : 512

FREQUENZUMFORMER
GLEICHFÖRMIG SYMMETRISCHE HERSTELLUNG
VON PROBEN
BERECHNUNGSALGORITHMEN

Solacolu, C. u.a. : **Statische Frequenzumformer mit Thyristoren mit Ausblendung auf dem Tor (GTO) mit Dauermodulation (PWM), die durch Mikroprozessorsystem gesteuert sind.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 2, Feb 1985, S. 56

Der Artikel beschreibt die spezifischen Probleme des Entwurfs und der Realisierung der statischen Frequenzumformer mit Breitenmodulation und die auf der Kraftseite Thyristoren mit Ausblendung auf dem Tor (GTO) benützen. Die Steuerung des Inverters wird mit Hilfe eines Mikroprozessors 8085 verwirklicht, indem als Umschaltungsstrategie die gleichförmig symmetrische Herstellung von Proben benütz wird. Die Berechnungsalgorithmen, die Arbeitsprogramme und die experimentellen Ergebnisse schliessen die Arbeit ab.

DK 621.316.5 : 621.317.39

KONTAKT
KONTAKTFLÄCHE
ANZIEHUNGSKRAFT

Suciu, I. : **Die magnetische Kontaktfläche und deren magnetische Beanspruchung (II).**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 2, Feb 1985, S. 64

Die Arbeit bildet die Fortsetzung des Artikels „Der magnetische Kontakt — ein neues Montageelement und die magnetische Katastrophe im Luftspalt (I)", der in der Zeitschrift E.E.A—Electrotehnica, Bucureşti, Nr. 5, Juli 1984 veröffentlicht wurde, und bezieht sich, durch formelle Analogie mit dem elektrischen Kontakt, auf die Beschreibung der magnetischen Kontaktfläche und auf die Illustrierung der magnetischen Beanspruchung dieser Fläche, die den Wert der, zwischen den Polstücken eines Magnetkreises ausgeübten Anziehungskraft, beeinflusst.

DK 621.3.018.44 : 621.313.045.13

GLEICHSTROMMOTOR
DYNAMISCHER BETRIEB
STROMSPITZE

Ţigler, M., Cănescu, S. : **Die dynamischen Betriebe der elektrischen Antriebssysteme mit Gleichstrommaschinen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 2, Feb 1985, S. 70

Das Studium des dynamischen Betriebs der Gleichstrommotoren mit Fremderregung hebt hohe Werte des Stroms im Stromkreis des Rotors hervor. In der Arbeit wird der Rotorstrom in nichtstationärem Betrieb für Gleichstrommotoren mit Fremderregung, die im Inland hergestellt werden bestimmt und es werden Empfehlungen betreffs des Einsatzes des notwendigen Befehlsgeräts gemacht.

DK 621.313.2

GLEICHSTROMMASCHINE

Drăgănescu, Gh. O. : **Über die Möglichkeiten der Bestimmung, auf experimentellem Wege, der Asymmetrie des Luftspalts bei der Gleichstrommaschine mit dem Rotor in Drehbewegung.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 2, Feb 1985, S. 73

Es wird eine Methode für die Bestimmung, auf experimentellem Wege, der Breitenasymmetrie des Luftspalts der Haupt — und Wendepole bei der asynchronen Maschine mit dem Rotor in Drehbewegung, dargesttelt. Das Prinzip der Methode besteht in der Annahme der Amplitude der Verzahnungsharmonische der Induktion im Luftspalt, als eine vom Wert des Luftspalts abhängige Grösse, und der Realisierung einer Umrisslinie, in der die Verzahnungsharmonische der Induktion eine elektromotorische Kraft bewirkt, deren Wert von der Breite des Luftspalts abhängig ist.

DK 621.359.4 : 621.318.7 : 537.2

AEROSOLE
FILTERUNG
ELEKTROSTATIK

Botez, D. D. : **Elektrofilter für Industrieräume EF-1500 P2.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 2, Feb 1985, S. 79

Im Artikel wird ein Elektrofilter dargestellt, das zur lokalen Reinigung der Atmosphäre in den Industrieräumen bestimmt ist, und es werden die theoretischen Elemente, die dem Entwurf zugrundclagen, die angenommenen technischen Lösungen und die Vorteile der Luftfilterung mit Hilfe der Elektrofilter hervorgehoben.

DK 621.315.627

NICHTLEITENDE ÜBERGÄNGE
ENTWERFBERECHNUNG

Păduraru, N. u.a. : **Berechnung der nichtleitenden Übergänge Typ Kondensator.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 2, Feb 1985, S. 90

Die Arbeit beschreibt, auf Grund der Analyse der theoretischen Hauptaspekte betreffs der Berechnung der nichtleitenden Übergänge, eine Entwerfmethodik der nichtleitenden Übergänge Typ Kondensator mit einem Programm auf dem elektronischen Rechner. Es werden Ergebnisse des Entwerfens, der technologischen Verwirklichung und der Isolationsversuche der erhaltenen Geräte dargestellt.

DK 621. 377.6 : 512

BIBLIOTHEK SCHNELLMATHEMATIK
DREI BYTES GLEITKOMMA
8 BYTES MIKROPROZESSOREN

Tatoiu, V. : **Bibliothek Schnellmathematik fuer Rechensysteme in Echtzeit unter Verwendung von 8 Bytes Microprozessoren.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, Feb 1985, p. 94

Vorliegende Arbeit legt eine schnelle mathematische Bibliothek binaer gleitkomma mit der Mantisse auf 2 bytes dar und umfasst Konversionunterprogramme fuer Rechnen mit den 4 arythmetischen Operationen und den 8 Hauptfunktionen sowie auch Datenuebertragung. Die Bibliothek sient wie ein unabhaengiger Modul aus der alle noetigen Unterprogramme zum Schreiben von Programmen fuer Rechensysteme in Echtzeit unter Verwendung von 8 bytes Mikroprozessoren.

CONTENTS

DC 621.313.3 : 621.3 013.8

VOLTAGE – FREQUENCY GENERATOR
VIBRATION ELECTROMAGNETIC EXCITER

Darie, S., Bălan, H., Palaghiță, N. : **Equipment for testing at equipment mechanical vibrations; 2nd chapter : Electronic control of the supply generator of the vibration exciter.**

E.E.A. – **Electrotehnica 33**, no. 2, feb. 1985, p. 51

This paper reports the solution obtained and adopted for the controlling device of the variable voltage – frequency generator used for supplying the electromagnetic vibration exciter in inertial mode. The criteria which led to this adopted regulating solution are emphasized; the functioning mode of the control diagram is described, the selection and adjustment of the voltage stabilizer is presented, and also the design of the voltage-frequency converter is described.

DC 621.314.2 :.512

FREQUENCY CONVERTERS
UNIFORMLY SYMMETRICAL SAMPLING
CALCULUS ALGORITHMS

Solacolu, C. and others : **Static frequency converters using gate turning-off thyristors (GTO) with pulse-width modulation (PWM), controlled by microprocessor.**

E.E.A. – **Electrotehnica 33**, no. 2, feb. 1985, p. 56

This paper reports the specific matters concerning the design and achievement of the static frequency converters with width modulation which uses gate turning-off thyristors (GTO) on the force circuit. The converter controlling is obtained by means of a 8085 microprocessor using uniformly symmetrical sampling as switching strategy. The calculus algorithms, the working programs and the experimental results are presented too.

DC 621.316.5 : 621.317.39

CONTACT
CONTACT SURFACE
ATTRACTION FORCE

Suciu, I. : **Magnetic contact surface and its magnetic stress (II).**

E.E.A. – **Electrotehnica 33**, no. 2, feb. 1985, p. 64

This paper continues the paper „The Magnetic Contact – a New Circuit Element and the Magnetic Accident into the air-gap (I)" published in E.E.A. „Electrotechnica", Bucharest, no. 5, July 1984 and is referring, by formal analogy with the electric contact, to the description of the magnetic contact surface and illustration of the magnetic stress of this surface that affects the value of the attraction force exerted between the polar parts of a magnetic circuit.

DC 621.3.018.44 ; 621. 313.045.13

DC MOTOR
DYNAMIC WORKING CONDITION
CURRENT PEAK

Țigler, M., Gănescu, S. : **The dynamic working conditions of the electric driving systems with DC machines.**

E.E.A. – **Electrotehnica 33**, no. 2, feb. 1985, p. 70

The investigation of the dynamic working conditions of the DC motors with independent excitation emphasizes peak values of the current in the rotor circuits. This paper determines the rotor current under transient working conditions for DC motors with independent excitation fabricated in our country and makes recommendations concerning the use of the controlling equipment.

DC 621.313.2

DC MACHINE

Drăgănescu, Gh. O. : **On the experimental determination possibilities of the air-gap asymmetry at the DC machine with the rotary-moving rotor.**

E.E.A. – **Electrotehnica 33**, no. 2, feb. 1985, p. 73

A method for experimental determination of the asymmetry of the air-gap width of the domain and auxiliary poles at the asynchronous machine with rotative-motion rotor is reported. This method consists in adopting the amplitude of the teeth harmonic of the air-gap induction as a dependent dimension upon the air-gap value, and obtains a contour in which the teeth harmonic of the induction determines a t.e.m. whose value depends upon the air-gap width.

DC 621.359.4 : 621.318.6 : 537.2

AEROSOLS
FILTRATION
ELECTROSTATICS

Botez, D. D. : **Electrofilter for EF 1500-P2 production rooms.**

E.E.A. – **Electrotehnica 33**, no. 2, feb. 1985, p. 79

This paper reports an electrofilter designed to be used for local purification of the air in production rooms emphasizing the theoretical elements that were the basis of the design, the technical solutions adopted and the advantages of the air filtration using electrofilters.

DC 621.315.627

INSULATING PASSAGES
DESIGNING CALCULUS

Păduraru, N. and others : **Capacitor-type insulating passage calculus.**

E.E.A. – **Electrotehnica 33**, no. 2, feb. 1985, p. 90

This paper reports, on the basis of the analysis of the main theoretical aspects referring to the insulating passage calculus a design method for the capacitor-type insulating passages with a program on the electronic computer. The results of the design, of the technological achievement and of the obtained-equipments insulation experiments are reported.

DC 621.377.6 : 512

FAST MATHEMATICAL LIBRARY
THREE FLOATING POINT BYTES
8 BIT MICROPROCESSORS

Tatoiu, V. : **Fast mathematical library for real time computing systems using 8 bit microprocessors.**

E.E.A. – **Electrotehnica 33**, no. 2, feb. 1985, p. 94

The paper presents a fast mathematical library in floating point binary with 2 byte mantisse including subprograms for conversion, 4 arithmetical operations, 8 basical functions as well as data transfer. The library is conceived as an independent module containing all the necessary subprograms for writing real time computing programs using 8 bit microprocessors.

SOMMAIRE

CZ 621.313.3 : 621.3.013.8

GÉNÉRATEUR DE TENSION-FRÉQUENCE
EXCITATEUR ÉLECTROMAGNETIQUE
DE VIBRATION

Darie, S., Bălan, H., Palaghiță, N. : **Installation pour l'essai aux vibrations mécaniques des équipements.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, fév 1985, p. 51

L'ouvrage présente la solution adoptée et réalisée pour le dispositif de commande du générateur de tension avec fréquence et tension variable, utilisé pour l'alimentation de l'excitateur de vibration de type électromagnétique, en variante d'inertie. Les critères qui ont mené à la solution de réglage sont mis en évidence ; on décrit le mode de fonctionnement du schéma de commande, le choix et le réglage du régulateur de tension, ainsi que la projection du convertisseur tension-fréquence.

CD 621.314.2 : 512

CONVERTISSEURS DE FRÈQUENCE
ECHANTILLONAGE UNIFORME SIMÈTRIQUE
ALGORITHMES DE CALCUL

Solacolu, C. et a. : **Convertisseurs statiques de fréquence aux thyristeurs avec extinction sur porte (GTO) à modulation en durée (PWM), commandés par système microprocesseur.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, fév 1985, p. 56

L'article présente les problèmes spécifiques concernant la projection et la réalisation des convertisseurs statiques de fréquence avec modulation en largeur et qui utilisent sur le côté de force des thyristors avec extinction sur porte (GTO). La commande de l'ondulateur est réalisée à l'aide d'un microprocesseur 8085 en employant comme stratégie de commutation l'échantillonage uniforme symétrique. Les algorithmes de calcul, les programmes de travail et les résultats expérimentaux conclurent l'ouvrage.

CD 621.316.5 ; 621.317.39

CONTACT
SURFACE DE CONTACT
FORCE D'ATRACTION

Suciu, I. : **Surface de contact magnétique et la sollicitation magnétique de celle-ci.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, fév 1985, p. 64

L'ouvrage constitue la continuation de l'article „Le contact magnétique — un nouveau élément de circuit et la catastrophe magnétique en entrefer (I)", publié dans la revue E.E.A. — Electrotehnica Bucharest, nr. 5, juillet 1984, et il se rapporte, par analogie formelle avec le contact électrique, à la description de la surface de contact magnétique et à l'illustration de la sollicitation magnétique de cette surface, qui influence sur la valeur de la force d'attraction exercée entre les pièces polaires du circuit magnétique.

CD 621.3.018.44/621.313.045.13

MOTEUR À COURANT CONTINU
RÈGIME DYNAMIQUE
POINTE DE COURANT

Țigler, M., Cănescu, S. : **Régimes dynamiques des systèmes d'actionnement électrique avec machines à courant continu.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, fév 1985, p. 70

L'étude du régime dynamique des moteurs à courant continu avec excitation indépendante, met en évidence des valeurs élévées du courant du circuit rotorique. Dans l'ouvrage on détermine le courant rotorique en régime transitoire pour les moteurs à courant continu avec excitation indépendante fabriqués dans notre pays et on fait des recommandations concernant l'utilisation de l'appareillage de commande nécessaire.

CD 621.313.2

MACHINE À COURANT CONTINU

Drăgănescu, Gh. O. : **Sur les possibilités de détermination, à voie expérimentale, de l'asymétrie de l'entrefer à la machine à courant continu avec le rotor en mouvement de rotation.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, fév 1985, p. 73

Dans l'ouvrage on présente une méthode pour la détermination à voie expérimentale, de l'asymétrie de la longeur de l'entrefer des pôles principaux et auxiliaires à la machine asynchrone avec le rotor en mouvement de rotation. Le principe de la méthode consiste dans l'adoption de l'amplitude de l'harmonique de denture de l'entrefer, comme grandeur dépendente de la valeur de l'entrefer, et la réalisation d'un contour où l'harmonique de denture de l'induction détermine une force électromotrice dont la valeur dépend de la largeur de l'entrefer.

CD 621.359.4 : 621.318.7 : 537.2

AÈROSOLS
FILTRATION
ELECTROSTATIQUE

Bolez, D. D. : **Electrofiltre pour une salle industrielle EF-1500 P2.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, fév 1985, p. 79

Dans l'article est présenté un électrofiltre destiné à la purification locale de l'atmosphère dans les salles industrielles, mettant en évidence les éléments théoriques qui ont été à la base de la projection, les solutions techniques adoptées les avantages de la filtration de l'air à l'aide des électrofiltres.

CD 621.315.627

PASSAGES ISOLANTS
LE CALCUL DE PROJECTION

Păduraru, N. et a. : **Le calcul des passages isolants de type condensateur.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, fév 1985, p. 90

L'ouvrage présente, sur la base de l'analyse, des principaux aspects théoriques qui se rapportent au calcul des passages isolants, une méthode de projection des passages isolants type condensateur avec un programme sur le calculateur électronique. On présente aussi les résultats de la projection, de la réalisation téchnologique et les essais d'isolation des appareils obtenus.

CD 621.377.6 : 512

BIBLIOTHEQUE MATHEMATIQUE RAPIDE
TROIS OCTETS VIRGULE MOBILE
MICROPROCESSEURS A 8 BITS

Tătoiu, V. : **Bibliothèque mathématique rapide pour les systems de calcul en temps réel qui utilisent les microprocesseurs de 8 bits.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 2, fev 1985, p. 94

L'ouvrage presente une bibliothèque mathématique rapide en binare virgule flotante avec la mantisse sur 2 octets. Il contient de sous-programmes de conversion, de calcul des 4 opèrations arithmètique et des 8 fonctions de base, ainsi que transfert des données. La bibliothèque est conçue en tant que module indèpendant contenant la totalité des sous-programmes nécessaires à l'écriture des programmes pour les systems de calcul en temps réel avec l'utilisation des microprocesseurs à 8 bits.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini apare în cadrul Oficiului de informare documentară al Institutului de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.). Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 şi 695, plata abonamentelor făcîndu-se prin madat poştal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 3017.7.02.01 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii, ca şi pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA se pot adresa întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export-import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001. — Telex 01.12.26

Tiparul :
Intreprinderea „Informaţia“
Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 2720

nerator de curent constant. Curentul de colector i_{c1} al acestui tranzistor se va stabili la valoarea (fig. 2):

$$i_{C1} = i_{E1} = \frac{-U^+}{R_4 + P}, \tag{4}$$

unde tensiunea U^+ pe intrarea neinversoare a amplificatorului operațional este:

$$U^+ = \frac{\frac{1}{R_1}\cdot U_i + \frac{1}{R_3}(-E)}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}}, \text{ cu: } U_i \leqslant 0, \tag{5}$$

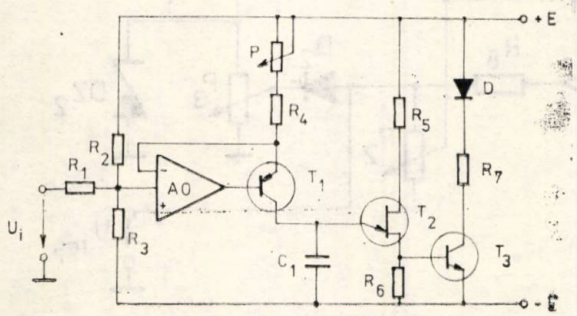


Fig. 2. Schema electronică a convertorului.

Curentul i_{C1} va încărca condensatorul C_1 rezultînd la bornele lui o tensiune U_C liniar variabilă, crescătoare în timp:

$$U_C = \frac{i_{C1}}{C}\cdot t. \tag{6}$$

În momentul în care tensiunea U_C atinge valoarea $\eta_2 \cdot E$ (η_2 fiind raportul de divizare intrinsec al tranzistorului unijoncțiune), tranzistorul unijoncțiune se descarcă prin rezistența R_6. Dacă se neglijează timpul de descărcare a condensatorului C_1, se poate determina frecvența de repetiție a impulsurilor care apar pe rezistența R_6:

$$f = \frac{i_{C1}}{C_1\cdot(\eta_2\cdot E - U_v)}, \tag{7}$$

sau, ținînd seama de relațiile (4) și (5):

$$f = \frac{\frac{1}{R_1}\cdot U_i + \frac{1}{R_3}\cdot(-E)}{C_1(R_4+P)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)(U_v - \eta_2\cdot E)}. \tag{8}$$

Dacă în relația (5) este îndeplinită condiția:

$$\frac{1}{R_1}\cdot U_i \gg \frac{1}{R_3}\cdot(-E), \tag{9}$$

dependența dintre tensiunea de intrare și frecvență este practic liniară.

În figura 3 se prezintă caracteristica de intrare-ieșire obținută experimental pentru convertorul tensiune-frecvență.

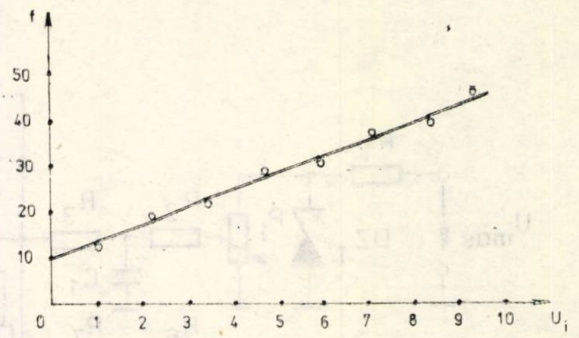


Fig. 3. Caracteristica convertorului tensiune-frecvență.

Impulsurile rezultate la ieșirea convertorului tensiune-frecvență sînt divizate cu doi, prin intermediul circuitului basculant bistabil (CBB), iar apoi se atacă porțile „ȘI"; celălalt semnal de atac pentru poarta „ȘI" este furnizat de un circuit basculant astabil.

Datorită defazajului dintre tensiunea și curentul prin sarcină, pentru aprinderea sigură a tiristoarelor din invertor, este necesar atacul tiristoarelor cu tren de impulsuri.

Atît dispozitivul de comandă pe grilă (DCG), cît și porțile „ȘI" atacă tiristoarele prin intermediul amplificatoarelor de impuls (AI).

3.1. Alegerea și acordarea regulatorului de tensiune

Necesitatea regulatorului de tensiune a fost dictată de realizarea unei comutații sigure a invertorului. Schema electronică a regulatorului de tensiune este prezentată în figura 4.

Pentru alegerea și acordarea regulatorului de tensiune s-a determinat funcția de transfer a circuitului exterior regulatorului. Aceasta a impus determinarea:

— funcției de transfer a punții cu tiristoare;
— funcției de transfer a dispozitivului de comandă pe grilă (DCG);
— funcției de transfer a traductorului de tensiune;
— funcției de transfer a circuitului intermediar.

Funcția de transfer a punții cu tiristoare:

$$Y_{red(s)} = \frac{K_r}{e^{s\cdot T_\mu}}, \tag{10}$$

unde T_μ este timpul mort al punţii cu tiristoare :

$$T_\mu = \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{f}\cdot\frac{1}{p} = \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{50}\cdot\frac{1}{1} = 10 \text{ ms},$$

în care : f este frecvenţa tensiunii de alimentare ;
p — numărul de faze ;
K_r — factorul de amplificare al punţii ;

$$K_r = \frac{\mathrm{d}U_r}{\mathrm{d}\alpha} = -(U_{max}\cdot\sin\alpha)\cdot\frac{\pi}{180} = 3{,}85\,\frac{V}{\text{grad}}.$$

R_V, L_V — rezistenţa, respectiv inductanţa vibratorului ;
u_C — tensiunea filtrată ;
i_{TD}, i_V, i_C — curenţii prin grupul tiristor-diodă, vibrator condensator.

Pentru schema din figura 5, se poate scrie :

$$i_{TD} = i_C + i_V, \tag{13}$$

$$U_r = R_{TD}\cdot i_{TD} + U_C, \tag{14}$$

$$U_C = \frac{1}{C}\int i_C\cdot\mathrm{d}t = i_V\cdot R_V + L_V\frac{\mathrm{d}i_V}{\mathrm{d}t}. \tag{15}$$

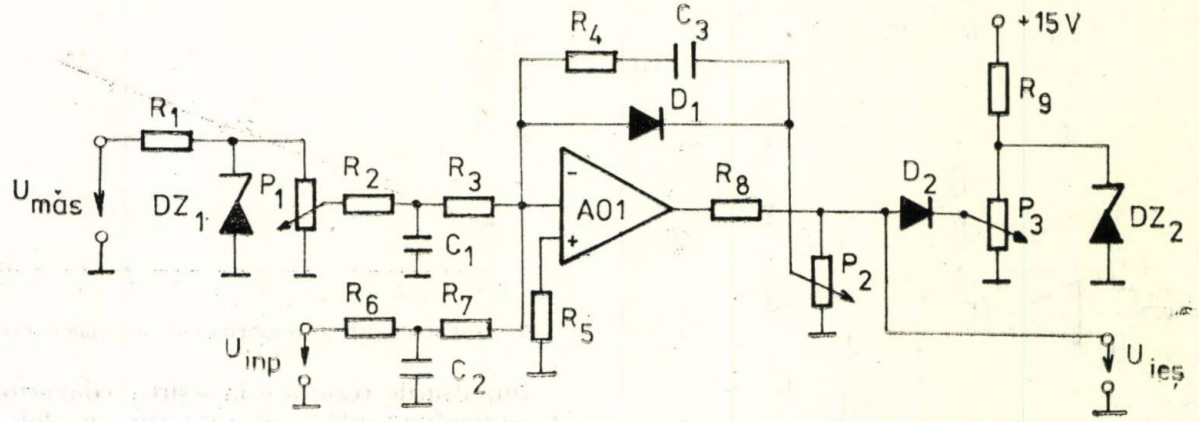


Fig. 4. Schema electronică a regulatorului de tensiune.

Funcţia de transfer a dispozitivului de comandă pe grilă (DCG) :

Acesta fiind un element neinerţial, funcţia de transfer este :

$$K_{D.C.G.} = \frac{180^\circ}{8} = 22{,}5\,\frac{\text{grad}}{V}. \tag{11}$$

Funcţia de transfer a traductorului de tensiune :

$$Y_{fU(s)} = \frac{K_{fU}}{1 + S\cdot T_{fU}}, \tag{12}$$

unde : K_{fU} este factorul de amplificare al traductorului de tensiune :

$$\left(K_{fU} = \frac{P_1}{R_1 + P_1}\right), \text{ (figura 4)};$$

T_{fU} — constanta de timp a filtrării armonicilor de tensiune ;
$T_{fU} = 10$ ms, corespunzător armonicii de 100 Hz, proprie redresării monofazate în punte ;

Funcţia de transfer a circuitului intermediar :

Se porneşte de la schema echivalentă din figura 5, unde :
U_r este tensiunea redresată ;
R_{TD} — rezistenţa echivalentă a unui grup tiristor-diodă în conducţie ;

Din ecuaţiile (13)—(15), aplicînd transformata Laplace, se obţine :

$$Y_{C.I(S)} = \frac{U_C(s)}{U_r(s)} = \frac{1 + S\cdot T_V}{1 + S(T_C + T_V) + S^2 T_C\cdot T_V}, \tag{16}$$

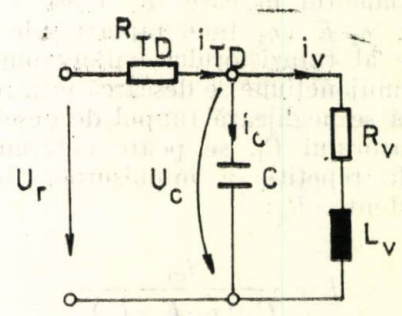


Fig. 5. Schema echivalentă a circuitului intermediar.

unde s-a notat cu :

$T_V = \dfrac{L_V}{R_V}$ — constanta de timp a vibratorului

şi $T_C = C\cdot R_{TD}$; s-a neglijat rezistenţa grupului tiristor-diodă R_{TD} faţă de rezistenţa vibratorului R_V.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA
ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI

Electrotehnica nr. 2

CZ 621.313.3 : 621.3.013.8

GENERATOR DE TENSIUNE-FRECVENŢĂ
EXCITATOR ELECTROMAGNETIC DE VIBRAŢII

Instalaţie pentru testarea la vibraţii mecanice a echipamentelor

Partea a II-a. Comanda electronică a generatorului de alimentare a excitatorului de vibraţii

SILVIU DARIE, HORIA BĂLAN, NICOLAE PALAGHIŢĂ* — CLUJ-NAPOCA

Instalaţia pentru testarea la vibraţii mecanice a echipamentelor, permite realizarea unor oscilaţii mecanice de frecvenţă şi acceleraţie controlată, conform normelor de încercare. Instalaţia [1] se compune din :

— excitatorul de vibraţie;

— generatorul de tensiune cu frecvenţă şi tensiune variabilă;

— sistemul de măsurare a acceleraţiei, frecvenţei şi amplitudinii vibraţiilor;

— sistemul de reglaj automat.

Generatorul de tensiune cu frecvenţă şi tensiune variabilă este realizat în soluţie compactă pe partea de forţă şi, modular, pe partea de comandă.

Partea de forţă a generatorului se compune din : redresorul comandat (care furnizează tensiunea variabilă), circuitul intermediar şi invertorul în punte.

Partea de comandă a generatorului realizează : legea de reglare impusă vibratorului, menţinerea constantă a tensiunii la ieşirea redresorului, generarea de impulsuri de comandă pentru redresor şi invertor, precum şi funcţia de protecţie a generatorului.

1. Principiul de reglare a generatorului

Ecuaţiile care descriu funcţionarea electrică şi mecanică în regim armonic a vibratorului electromagnetic inerţial sînt :

$$M \cdot \ddot{x} + \beta \cdot \dot{x} + Ke \cdot x = f_{em}, \qquad (1)$$

$$f_{em} = K \cdot \Phi^2,$$

$$f_{em} = \frac{K_1 \cdot K_0^2}{(l_0 - x)^2} \cdot i^2, \qquad (2)$$

în care :

M este masa totală în mişcare;

β — coeficientul de frecare vîscoasă;

Ke — constanta elastică echivalentă a resoartelor;

f_{em} — forţa electromagnetică instantanee, de tip Maxwell;

K_1, K_0 — constante geometrice şi de material ale vibratorului;

l_0 — întrefierul de lucru al vibratorului;

x — deplasarea instantanee a armăturii vibratorului;

i — valoarea instantanee a curentului prin bobina vibratorului.

Prin transformări succesive, prezentate în lucrarea [1], ecuaţia (2), în cazul în care rezistenţa electrică este cu mult mai mică decît reactanţa bobinei vibratorului, devine :

$$f_{em} \cong A \cdot \left(\frac{U}{f}\right)^2, \qquad (3)$$

A fiind o constantă a vibratorului.

Relaţia (3) conduce la alegerea unui criteriu de reglaj automat, de exemplu în situaţia în care se impune încercarea la vibraţii sinusoidale cu acceleraţie constantă la baleierea frecvenţei, va fi necesar să se menţină f_{em} constantă, adică raportul U/f = const.

Acest criteriu s-a folosit la instalaţia proiectată şi realizată în [2]. De menţionat că în anumite situaţii, la frecvenţe joase de lucru, cînd rezistenţa electrică devine comparabilă cu reactanţa bobinei vibratorului se impune modificarea raportului U/f.

* Conf. dr. ing. *Darie, S.*, ing. *Bălan H.*, ing. *Palaghiţă N.* — Facultatea de electrotehnică, Institutul politehnic Cluj-Napoca.

2. Prezentarea soluției adoptate

Schema-bloc a generatorului de tensiune cu frecvență și tensiune variabilă este redată în figura 1.

Partea de forță se compune din transformatorul de rețea TR, puntea redresoare comandată (T_1; T_2; D_1; D_2), circuitul intermediar de curent continuu (C_1; R) și invertorul în punte (T_3; T_4; T_5; T_6); în cadrul invertorului apar grupurile de stingere (C_2; C_3; C_4; C_5; L_1; L_2), precum și diodele de curent invers (D_3; D_4; D_5; D_6); tot în circuitul de forță apare șuntul pentru măsurarea curentului (S_h), precum și circuitul de măsurare a tensiunii din circuitul intermediar de curent continuu.

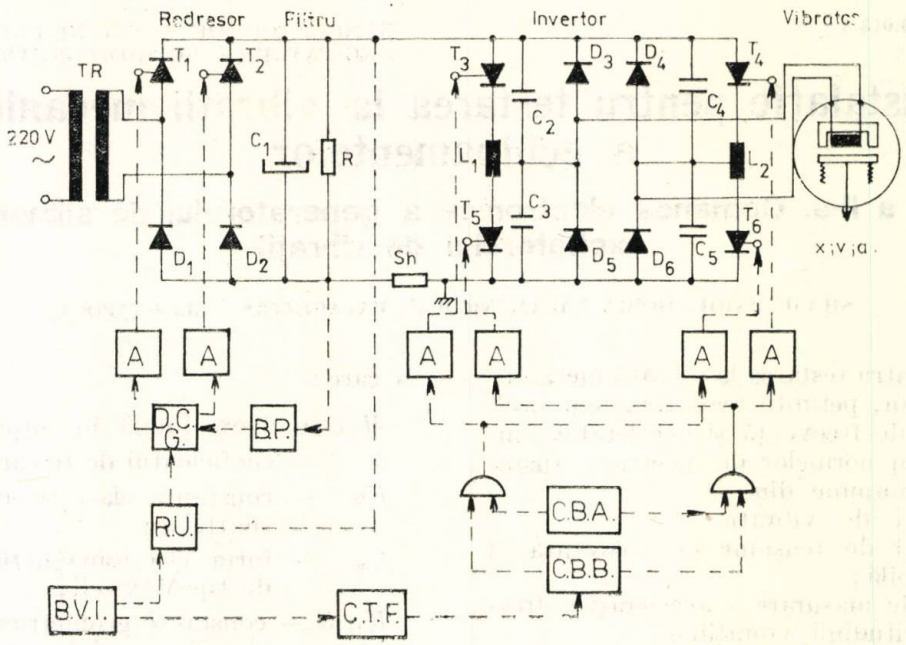


Fig. 1. Schema-bloc a generatorului.

3. Comanda electronică a generatorului de tensiune cu frecvență și tensiune variabile

La realizarea părții de comandă a generatorului s-a avut în vedere:

— variația continuă a frecvenței tensiunii de ieșire, în limitele (8 . . .100) Hz;

— menținerea constantă a raportului U/f, pentru a realiza funcționarea vibratorului la curent constant, apropiat de curentul nominal, la baleierea frecvenței tensiunii de alimentare.

Comanda electronică a generatorului cuprinde (fig. 1):

— *Blocul de valoare impusă (B.V.I.)*, care realizează raportul U/f dorit, ponderînd după o anumită lege tensiunea de comandă pentru regulatorul de tensiune (RU) și convertorul tensiune-frecvență (CTF); tot în acest bloc, tensiunea de referință pentru regulatorul de tensiune este dată prin intermediul unui bloc integrator (BI). Aceasta este necesară deoarece la micșorarea frecvenței invertorului tensiunea din circuitul intermediar nu ar putea să urmărească modificarea frecvenței, lucru care ar duce la nerespectarea criteriului de reglaj și la avarii în invertor.

— *Regulatorul de tensiune (RU)* are rolul de a menține constantă tensiunea în circuitul intermediar de curent continuu la variația curentului de sarcină; s-a adoptat un regulator PI, (v. pct. 3.1);

— *Dispozitivul de comandă pe grilă (DCG)*, este realizat cu ajutorul unui circuit integrat UAA 145; protecția la supracurent este realizată de blocul (BP), care permite repornirea instalației în situația apariției unui defect trecător, precum și blocarea impulsurilor de comandă la cerere: curentul de acționare al blocului de protecție este de 5A;

— *Convertorul tensiune-frecvență (CTF)*, este realizat cu ajutorul unui tranzistor unijoncțiune (TUJ); pentru ca tensiunea pe emitorul tranzistorului unijoncțiune să varieze liniar, încărcarea condensatorului din emitor se face prin intermediul unui generator de curent constant.

CTF este elementul de bază în comanda invertorului. La conceperea schemei, s-a avut în vedere liniaritatea schemei, precum și protejarea invertorului în cazul dispariției tensiunii de intrare în convertor.

Schema electronică a convertorului este prezentată în figura 2. Dacă se aplică la intrarea montajului o tensiune de comandă U_i de polaritate negativă, aceasta se va regăsi în emitorul tranzistorului T_1; tranzistorul T_1 formează împreună cu amplificatorul operațional un ge-

Relaţia (16) se mai poate scrie :

$$Y_{C.I(S)} \cong \frac{1}{1 + S \cdot T_V}, \qquad (17)$$

deoarece $T_C \cdot T_V = 0 (T_C = 3 \text{ ms}; T_V = 115 \text{ ms})$.

Din relaţiile (10—17), rezultă funcţia de transfer a circuitului exterior regulatorului :

$$Y_{ex}(s) = \frac{K_{ex}}{(1+S \cdot T_V)(1+S \cdot T_{\Sigma U})}, \qquad (18)$$

cu :

$$K_{ex} = K_{D.C.G.} \cdot Kr \cdot K_{fU} = 6{,}58, \qquad (19)$$

$$T_{\Sigma U} = T_\mu + T_{fU} = 20 \text{ ms}. \qquad (20)$$

Deoarece funcţia de transfer a circuitului exterior regulatorului este de forma (18), se alege un regulator PI, care se optimizează folosind criteriul modulului:

$$Y_{rU(s)} = \frac{1+\tau_1 \cdot S}{\tau_i \cdot S}, \qquad (21)$$

unde : $\tau_1 = T_V = 115$ ms ;

$$\tau_i = 2 \cdot K_{ex} \cdot T_{\Sigma U} = 263 \text{ ms}. \qquad (22)$$

Pentru a realiza încărcarea nominală a traductorului de tensiune, se alege $R_2 = R_3 = 10$ kΩ (fig. 4) ; în acest caz rezultă :

$$C_3 = \frac{\tau_i}{R_0} = \frac{263}{20} \cdot 10^{-6} = 13{,}15 \ \mu\text{F}, \qquad (23)$$

$$C_1 = \frac{T_{fU}}{\frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = 0{,}2 \ \mu\text{F}, \qquad (24)$$

$$R_4 = \frac{\tau_1}{C_1} = \frac{115 \cdot 10^{-3}}{0{,}2 \cdot 10^{-6}} = 23 \text{ kΩ}. \qquad (25)$$

4. Concluzii

Lucrarea prezintă soluţia adoptată pentru comanda electronică a generatorului de tensiune cu frecvenţă variabilă, utilizat pentru alimentarea excitatorului de vibraţie de tip electromagnetic [2]. Sînt rezolvate o serie de probleme specifice alimentării acestor tipuri de sarcini :

— menţinerea constantă a forţei electromagnetice ;

— modificarea raportului U/f la valori mici ale frecvenţei la care rezistenţa sarcinii devine comparabilă cu reactanţa ;

— utilizarea unui regulator de tensiune în circuitul intermediar de curent continuu pentru mărirea capacităţii de comutare a invertorului :

— soluţie simplă şi eficientă pentru comanda adecvată a redresorului comandat şi a invertorului.

Pe baza rezultatelor teoretice şi experimentale, obţinute de autori, se desprind idei noi în realizarea acestor surse pentru alimentarea vibratoarelor :

— comanda invertorului prin modulaţia în lăţime a impulsurilor, în vederea obţinerii unui curent de sarcină sinusoidal ;

— realizarea unui sistem de reglaj automat pentru menţinerea constantă a amplitudinii şi acceleraţiei vibraţiilor la baleiajul frecvenţei.

Soluţiile adoptate în acest sens vor fi prezentate de autori în lucrări viitoare.

Bibliografie

[1] *Darie, S.* ş.a. Proiectarea şi executarea unor subansambluri pentru un stand de încercări la vibraţii, cu măsurarea amplitudinii, frecvenţei şi acceleraţiei vibraţiilor. Contract 23.79.I.I.S. Electroceramica—Turda, 1979.

[2] *Darie, S.* ş.a. Cercetarea, proiectarea şi realizarea unei instalaţii pentru compactizarea oxizilor de aluminiu cu frecvenţă variabilă (5...100) Hz, amplitudine variabilă, cu măsurarea frecvenţei, amplitudinii şi acceleraţiei vibraţiilor. Contract 54.81. I.I.S. Electroceramica—Turda, 1981.

[3] *Darie, S., Bălan, H.* Stand pentru testarea la vibraţii a echipamentelor. Surse de alimentare. Simpozionul tehnico-ştiinţific C.U.G., Cluj-Napoca, 19—21 noiembrie, 1981.

[4] *Darie, S.* ş.a. Asupra realizării şi proiectării unor standuri pentru testarea la vibraţii a echipamentelor. CNEE '82, vol. 9 Timişoara, 1982.

[5] *Papadache, I.* ş.a. Regulatoare electronice. Bucureşti, Editura tehnică, 1966.

[6] *Cerbulescu, D.* Circuite electronice pentru comanda maşinilor electrice de curent alternativ lucrînd în regim variabil. Teză doctorat, Bucureşti, 1983.

[7] *Kelemen, A.*, ş.a. Electronică de putere. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1983.

[8] *Eykhoff, P.* Identificarea sistemelor. Bucureşti, Editura tehnică, 1977.

[9] *Séguier, G.* L'électronique de puissance. Les fonctions de base et leurs principales applications. Paris, Ed. Dunod, 1983.

[10] * * * SCR Manual. Sixth Edition. General electric. Semiconductor products department. 1979.

CZ 621.314.2 : 52

CONVERTIZOARE DE FRECVENȚĂ
EȘANTIONARE UNIFORM—SIMETRICĂ
ALGORITM DE CALCUL

Convertizoare statice de frecvență cu tiristoare cu stingere pe poartă (GTO) cu modulație în durată (PWM), comandate prin sistem microprocesor

CRISTIAN SOLACOLU, RADU SOLACOLU, LIVIU KREINDLER, RĂZVAN MĂGUREANU* — BUCUREȘTI

Introducere

Convertizoarele statice de frecvență cu modulație în durată a pulsurilor se utilizează din ce în ce mai des în sistemele de acționare electrică variabilă, utilizînd motoare asincrone.

Printre avantajele introduse de acest sistem se pot cita:

— posibilitatea de a obține, într-un singur etaj de putere, tensiune și frecvență variabile;

— utilizarea unor strategii de generare a pulsurilor care să conducă la minimizarea armonicilor tensiunii de ieșire;

— obținerea unui factor de putere ridicat chiar și la turații reduse prin utilizarea, pentru conversia c.a./c.c., a redresoarelor necomandate;

— obținerea unui conținut redus de armonici în curba curentului, ceea ce permite funcționarea în bune condiții, chiar și la frecvențe scăzute, spre deosebire de motoarele comandate de invertoare clasice, care prezintă o funcționare sacadată în acest caz.

1. Tiristorul cu stingere pe poartă

Principalul avantaj al utilizării tiristoarelor cu stingere pe poartă rezidă în capacitatea lor de a se autostinge, ceea ce face ca convertizoarele statice de frecvență, unde se utilizează acestea, să fie mai mici, mai ușoare și mai eficiente, desființîndu-se din schemă circuitul de comutare de forță. Datorită faptului că tiristoarele cu stingere pe poartă pot suporta curenți și tensiuni mai mari decît tranzistoarele de putere, producția lor s-a dezvoltat într-un ritm foarte rapid în ultimii ani. Astfel, pe plan mondial, la nivelul anului 1983, s-au produs tiristoare cu stingere pe poartă avînd următoarele caracteristici: I_{TCM} = 2 000 A (curentul maxim ce poate fi întrerupt); $I_{T(RMS)}$ = 800 A; V_{DRM} = 2 500 V; t_{gt} = 6 μs (timp de aprindere); t_{gq} = 25 μs (timp de stingere).

O caracteristică deosebită a acestor tipuri de semiconductoare de putere este ușurința cu care pot fi cuplate în paralel.

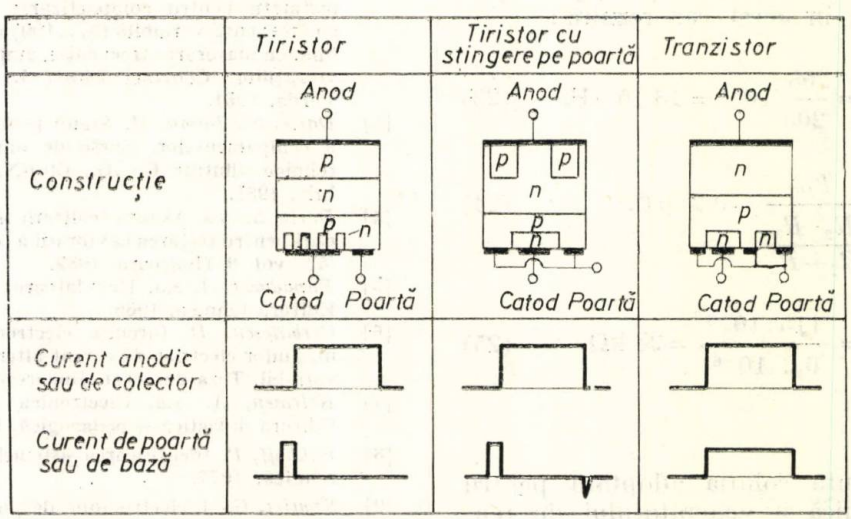


Fig. 1. Comparație între tiristorul convențional, tranzistor și tiristor cu stingere pe poartă.

În aplicația de față, s-a utilizat un convertizor static de frecvență format dintr-un redresor necomandat și un invertor de tensiune realizat cu tiristoare cu stingere pe poartă.

În figura 1 se prezintă o comparație sugestivă între tiristorul convențional (rapid), tranzistorul de putere și tiristorul cu stingere pe poartă, remarcîndu-se avantajele acestuia din urmă.

Structura și modelul tiristorului cu stingere pe poartă sînt prezentate în figura 2.

Acest dispozitiv semiconductor poate controla trecerea curentului într-o singură direcție,

* Ing. *Solacolu, C.*, ing. *Solacolu, R.* — Institutul de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.)-București, conf. dr. ing. *Măgureanu, R.* și ing. *Kreindler, L.* — Facultatea de electrotehnică, I.P.B.

poate bloca o tensiune înaltă în direct, cînd este stins, poate lăsa să treacă un curent de vîrf nerepetitiv mult mai mare decît cel nominal și, la fel ca un tranzistor, poate fi aprins și stins

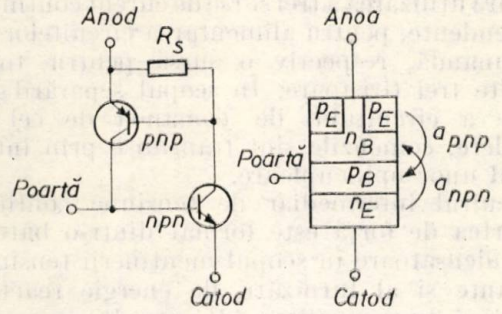


Fig. 2. Schema echivalentă și structura tiristorului cu stingere pe poartă.

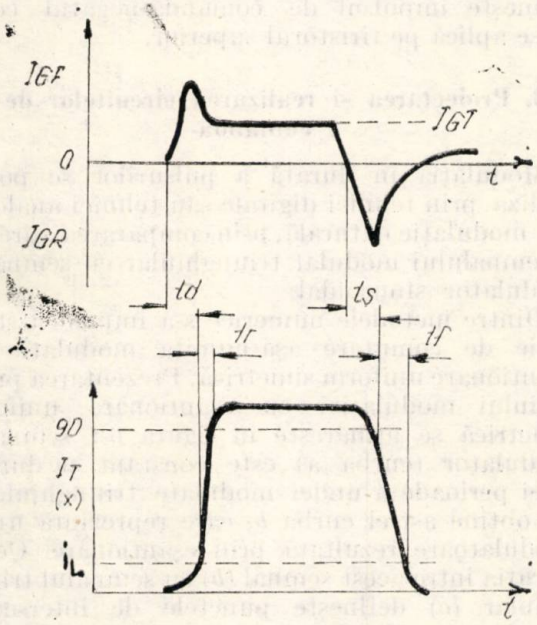


Fig. 3. Curentul pe poartă și curentul anodic la un tiristor cu stingere pe poartă.

prin controlul curentului de nivel scăzut care intră sau iese din poartă.

În figura 3 sînt prezentate curentul pe poartă, respectiv curentul anodic.

Aprinderea tiristorului se face prin descărcarea unui condensator în direct pe joncțiunea poartă-catod (fig. 4). În cazul cînd constanta de descărcare este prea mică, curentul pe poartă poate să scadă sub nivelul de amorsare i_{GT}, înainte de a se scurge timpul suficient pentru ridicarea nivelului curentului anodic peste nivelul de acroșare i_L. Acest lucru poate produce aprinderi nesigure ale ventilului.

Datorită faptului că timpul de întîrziere la aprindere t_d și cel de creștere t_r (fig. 3) sînt invers proporționale cu curentul direct pe poartă, pentru reducerea timpului de intrare în conducție, curentul de comandă crește la un nivel mult mai mare decît cel necesar pentru amorsare și nu se reduce la nivelul de amorsare i_{GT} decît după ce curentul anodic, are o valoare stabilizată mai mare ca i_L. Pentru tiristoarele convenționale o creștere rapidă a curentului anodic ar fi avut ca efect o disipare importantă de căldură dintr-o suprafață mică a cristalului de siliciu.

O altă caracteristică a tiristorului cu stingere pe poartă constă în aceea că, menținîndu-se un curent pe poartă mai mare ca i_{GT}, cît timp tiristorul este în conducție, se observă o scădere a căderii de tensiune pe tiristor, ceea ce duce la reducerea pierderilor în ventil. În exemplul prezentat (fig. 4) curentul care trece prin poartă circulă prin tranzistorul T_6, dioda Zener IO DZ8, care limitează tensiunea directă pe tiristor la o valoare admisibilă sub 8 V.

Stingerea tiristorului se realizează prin aplicarea unui potențial invers pe joncțiunea poartă-catod datorită intrării în conducție a tranzistorului T_5. Pe prima perioadă t_s începe extracția purtătorilor prin poartă, în perioada a doua, numită timp de cădere t_f, fluxul de purtători

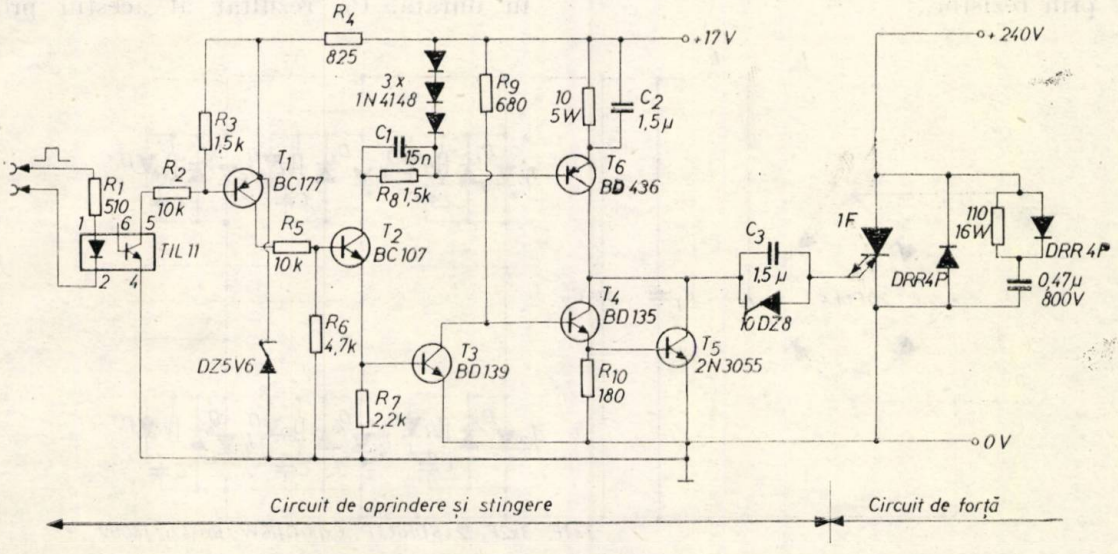


Fig. 4. Circuitul de aprindere și stingere pentru un tiristor cu stingere pe poartă.

reprezentînd curentul anodic este strangulat la un filament subțire, iar la ruperea acestuia, curentul anodic scade brusc; ultima perioadă, numită timp de coadă t_t, reprezentînd un curent de scurgere anodic datorat sarcinilor conservate în regiunile periferice ale cristalului.

Datorită fenomenelor prezentate mai sus tiristorul cu stingere pe poartă de $I_{T(AV)} = 6{,}5$ A poate stinge curenți de 25 A. O restricție, în acest sens, o constituie următorul fapt: cu cît curentul care trebuie întrerupt este mai mare, cu atît panta du/dt acceptată trebuie să fie mai mică. Nivelul curentului anodic întrerupt, cît și timpul de stingere, depind de valoarea tensiunii inverse pe poartă și de curentul extras prin poartă.

În aplicația realizată, s-a ales tiristorul cu următoarele caracteristici preliminare:

$I_{T(AV)} = 6{,}5$ A, $V_{DRM} = V_{RRM} = 1\,400$ V,

$I_{T(RMS)} = 7{,}5$ A, $i_L = 500$ mA la $I_{GF} = 500$ mA, $i_T = 5$ A,

$I_{TCM} = 25$ A,

$I_{TSM} = 50$ A, $i_{GT} = 100$ mA, $V_{GT} = 1$V la $V_0 = 12$ V,

$t_r = 0{,}8$ μs, $du/dt \leqslant 1$ kV/μs.

$t_d = 0{,}9$ μs,

2. Proiectarea și realizarea circuitului de forță

Învertorul se prezintă sub forma unei punți trifazate. Dioda de curent invers are rolul de a asigura închiderea curentului sarcinii după întreruperea cauzată de tiristor. Protecția la panta du/dt este realizată la început prin încărcarea condensatorului, dioda scurtcircuitînd rezistorul, la întrerupere condensatorul descărcîndu-se prin rezistor.

Datorită faptului că masa circuitului de aprindere se leagă la catodul tiristorului, iar pentru tiristoarele din partea superioară punții potențialul catodului este flotant, a fost necesară utilizarea a trei surse de curent continuu, independente, pentru alimentarea circuitelor lor de comandă, respectiv o sursă pentru toate celelalte trei tiristoare. În scopul separării galvanice a circuitului de comandă de cel de aprindere, comenzile sînt transmise prin intermediul unor optocuploare.

Circuitul intermediar de tensiune continuă pe partea de forță este format dintr-o baterie de condensatoare în scopul menținerii tensiunii constante și al furnizării de energie reactivă sarcinii și dintr-un filtru LC, introdus în scopul de a atenua armonicile produse de redresor.

Pe fiecare braț al punții, tiristorul inferior primește impulsul de comandă-negatul celui ce se aplică pe tiristorul superior.

3. Proiectarea și realizarea circuitelor de comandă

Modulația în durată a pulsurilor se poate realiza prin tehnici digitale sau tehnici analogice, modulație naturală, prin compararea directă a semnalului modulat triunghiular cu semnalul modulator sinusoidal.

Dintre metodele numerice s-a impus ca strategie de comutare așa-numita modulație cu eșantionare uniform simetrică. Prezentarea principiului modulației cu eșantionare uniform simetrică se urmărește în figura 6: semnalul modulator (curba a) este constant pe durata unei perioade a undei modulate triunghiulare. Se obține astfel curba b, care reprezintă unda modulatoare rezultată prin eșantionare. Comparația între acest semnal (b) cu semnalul triunghiular (c) definește punctele de intersecție folosite pentru determinarea momentelor de comutație t_1 și t_2 pentru impulsurile modulate în durată. Ca rezultat al acestui procedeu,

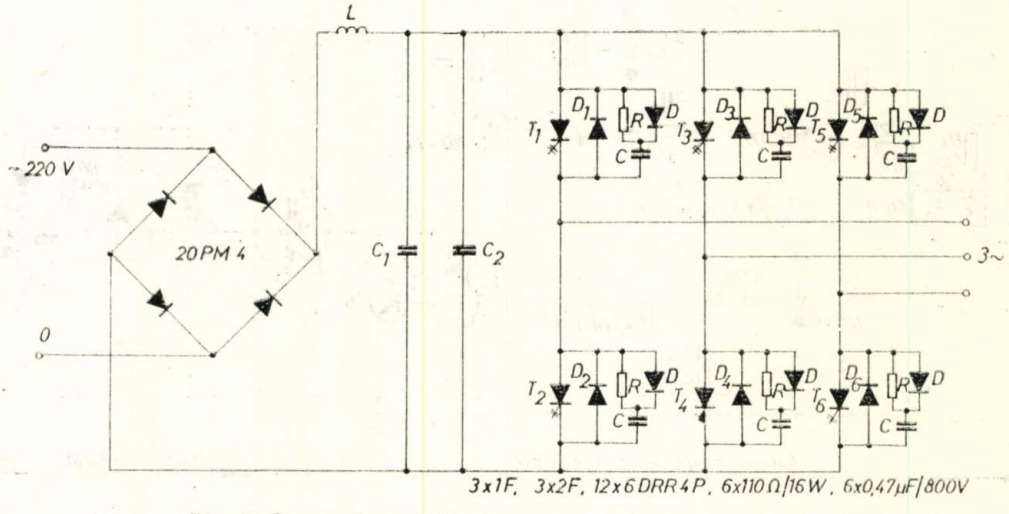


Fig. 5. Circuitul de forță al convertizorului de frecvență.

unda modulatoare este de valoare constantă între momentele de eșantionare și, deci, lățimea pulsului va fi proporțională cu amplitudinea acestui eșantion.

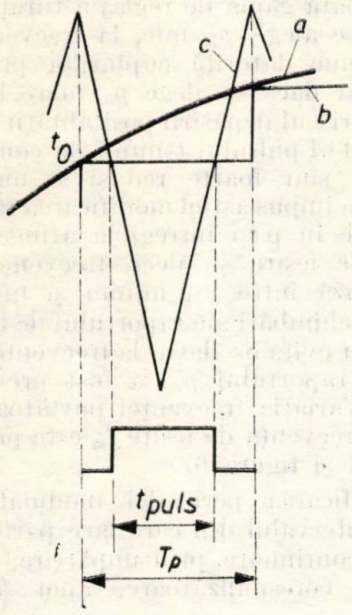


Fig. 6. Modulație prin eșantionare uniform-simetrică.

Lățimea pulsului este obținută pe baza relației :

$$t_1 = \frac{T_p}{2}[1 + M \sin \omega_m t_0], \qquad (1)$$

unde T_p este perioada undei modulate triunghiulare, M, raportul între amplitudinea semnalului modulator și cel modulat, ω_m, pulsația semnalului modulator sinusoidal, iar t_0, momentul de început al eșantionului.

Dacă se dorește o comandă independentă a frecvenței de ieșire (dictată prin T_p) și a tensiunii de ieșire (dictată de M), calculul duratei pulsului t_1 va necesita două înmulțiri. Utilizînd pentru comandă un microprocesor de 8 biți, aceste două înmulțiri durează un timp destul de îndelungat (sute de μs), ceea ce limitează frecvența maximă de lucru. Acest impediment poate fi depășit folosind un multiplicator hardware sau un microprocesor de 16 biți, soluții care, evident, conduc la un preț mai ridicat.

În cazul în care se dorește o funcționare la flux constant (ceea ce apare în primul domeniu de reglaj al motoarelor asincrone industriale între 5 și 50 Hz), relația (1) se poate simplifica, condiția U/f_m = constant transformîndu-se în $M = k \cdot f_m$.

Dacă se notează cu $p_m = f_p/f_m$ raportul între frecvența purtătoarei f_p și frecvența modulatoare f_m, se obține relația :

$$t_1 = \frac{T_p}{2} + \frac{k}{2.p_m} \sin(\omega_m t_0), \qquad (2)$$

în care înmulțirile au fost eliminate, ceea ce permite utilizarea pentru comandă a unui microprocesor de 8 biți de tipul Intel 8085 ales pentru această aplicație.

Sistemul de comandă are la bază următoarea schemă de principiu : o unitate centrală de calcul (microprocesorul 8085), memoria EPROM (8755) memoria RAM (8155), controlerul de priorități al întreruperilor (8259), ceasul programabil (8253), porturile de intrare și ieșire (realizate cu circuite tri-state respectiv registre CDB 495) (figura 7).

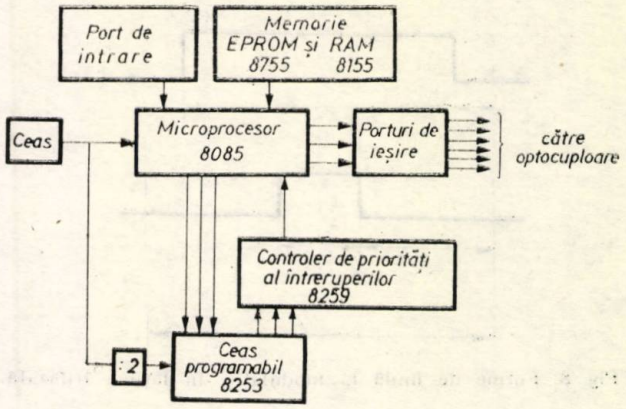


Fig. 7. Schema-bloc a circuitului de comandă.

Modul de funcționare a sistemului de comandă este următorul : la începutul fiecărei perioade a purtătoarei sînt încărcate în cele trei registre (cîte unul pentru fiecare fază) ale numărătoarelor ceasului programabil 8253 valorile anterior calculate ale timpilor de pauză t_{pA}, t_{pB}, t_{pC}. Numărătoarele numără descrescător, astfel încît, cînd unul din numărătoare atinge valoarea 0, ieșirea sa basculează și generează astfel o cerere de întrerupere către controlerul de priorități ale întreruperilor 8259 ; acesta analizează prioritățile și transmite cererea de întrerupere către microprocesor. Acesta modifică ieșirea portului de comandă corespunzător fazei care a generat întreruperea și apoi comandă încărcarea în numărătorul respectiv a valorii corespunzătoare timpului de lucru t_1. La terminarea intervalului t_1 se generează o nouă cerere de întrerupere, care impune unității centrale modificarea portului de ieșire respectiv.

Pentru a marca încheierea perioadei purtătoarei, la sfîrșitul intervalului t_1, ceasul uneia din faze (în alegerea noastră faza A), este încărcat din nou cu valoaea t_{pA}, astfel încît sfîrșitul acestui interval coincide cu încheierea perioadei T_p. Aceasta se marchează printr-o întrerupere, care impune încărcarea registrelor ceasului programabil cu timpii de pauză pentru perioada următoare.

Se remarcă faptul că, pentru un raport p_m dat, (număr întreg) sînt necesare de memorat numai p_m valori de sinus pentru o perioadă a

undei de ieșire, deci memoria ocupată de tabel este redusă.

Algoritmul de calcul utilizat este următorul: în memoria EPROM se află tabelată, prin puncte, valoarea $k \sin (\omega_m t_i)/4p_m$, iar de la programul de modificare a perioadei se obține

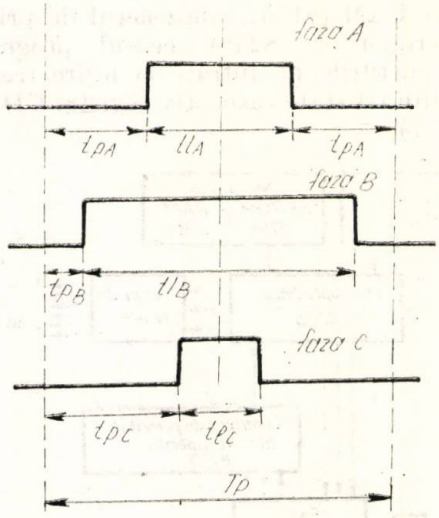


Fig. 8. Forme de undă la modulație în lățime trifazată.

valoarea $T_p/4$. Se calculează pentru treapta i ($i = 1,\ p_m$) timpii de lucru ($t_{li}/2 = T_p/4 + k \sin (\omega_m t_i)/4p_m$, în continuare t_{li}, iar timpii de pauză cu formula:

$$t_{pi} = \frac{T_p}{4} - k \frac{\sin \omega_m t_i}{4p_m}.$$

Timpii pentru celelalte două faze B și C se obțin defazați cu $p_m/3$, respectiv cu $2p_m/3$.

Modificarea turației motorului se obține schimbînd perioada undei modulatoare T_m. Se folosește o relație sincronă între frecvența purtătoarei și frecvența de ieșire, păstrîndu-se un raport întreg p_m. Nu se poate utiliza același raport pe toată gama de reglaj a turației, deoarece, dacă se alege p_m mic, la frecvențe joase apar probleme datorită cuplurilor produse de armonici, iar dacă se alege p_m mare, la turații mari există riscul depășirii posibilității de calcul în timp real al pulsului (timpii de comutație a invertorului sînt foarte reduși și nu produc limitări). S-a impus astfel modificarea raportului de frecvențe în pași întregi la atingerea unei frecvențe de ieșire și, deci, frecvența purtătoarei variază între un minim și un maxim între două schimbări ale raportului de frecvență p_m. Pentru a evita oscilații, la frecvențe în jurul modificării raportului p_m, a fost prevăzut un histerezis. Variația frecvenței purtătoarei f_p în funcție de frecvența de ieșire f_m este prezentată în tabelul 1 și figura 9.

La modificarea perioadei modulatoarei se identifică intervalul din care face parte, se calculează în continuare, prin împărțire, perioada purtătoarei corespunzătoare, apoi $T_p/4$; se

Tabelul 1

Intervalul	p_m	f_p, Hz	f_m, Hz
1	192	0— 500	0 — 2,56
2	192	500—1 000	2,5— 5,2
3	96	500—1 000	4,8—10,4
4	48	500—1 000	9,6—20,8
5	24	500—1 000	19 —41
6	12	500—1 000	39 —83,3

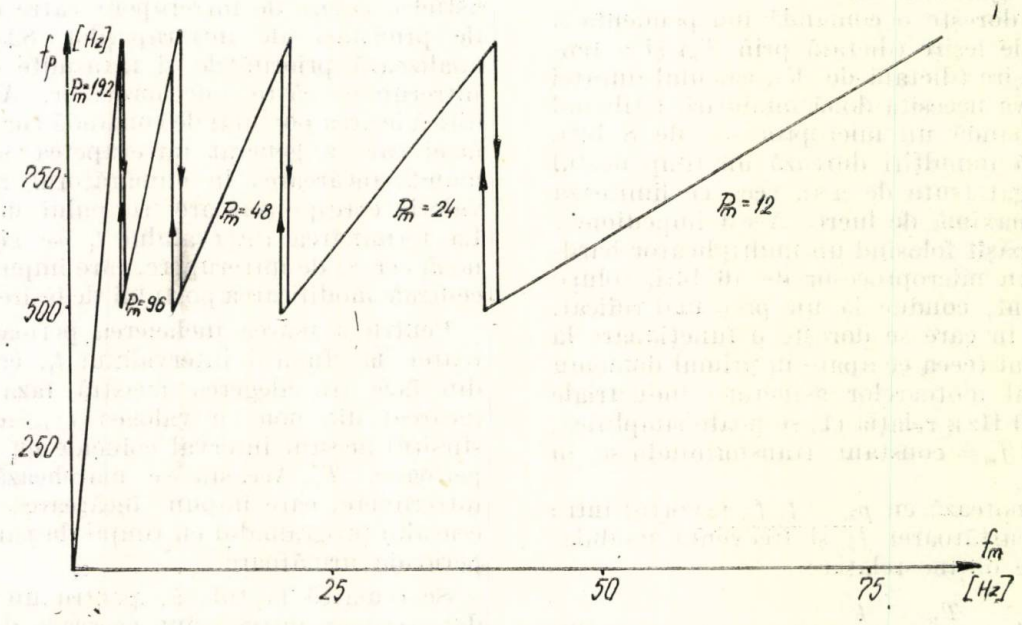


Fig. 9. Dependența între frecvența purtătoare (f_p) și frecvența undei modulatoare (f_m).

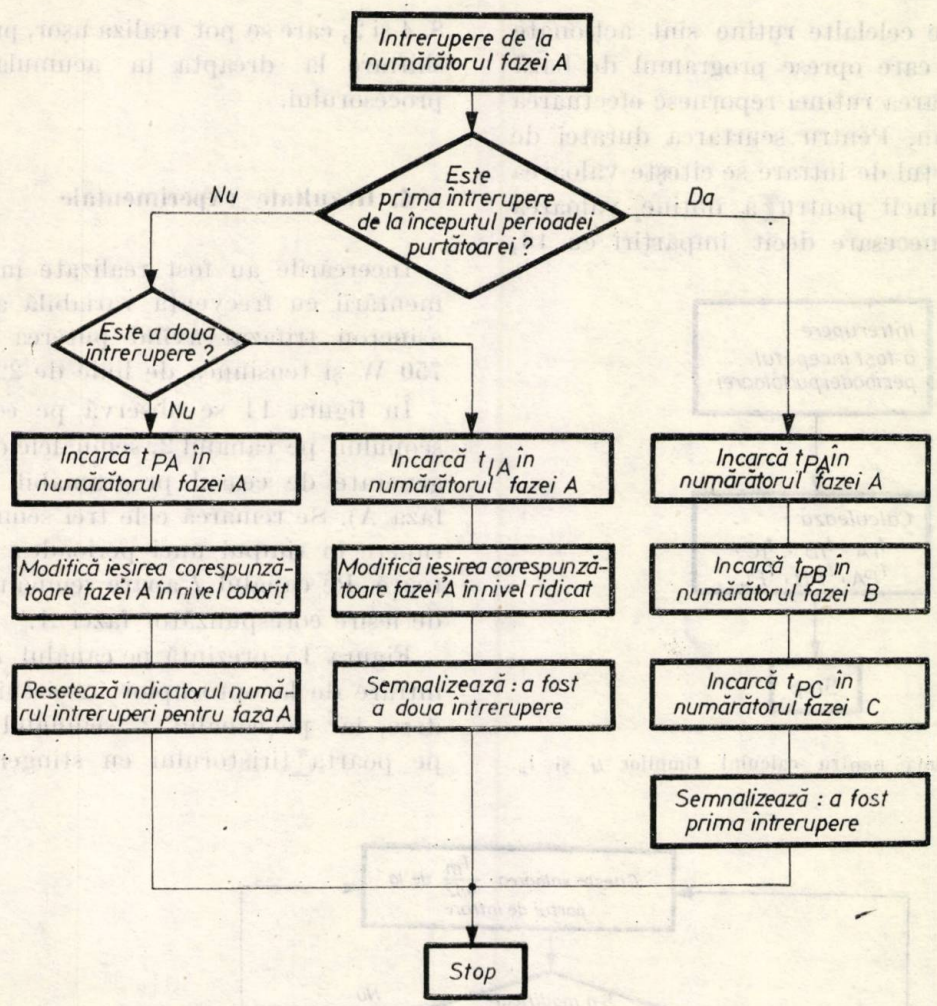


Fig. 10. Organigrama subrutinei de întreruperi pentru faza A.

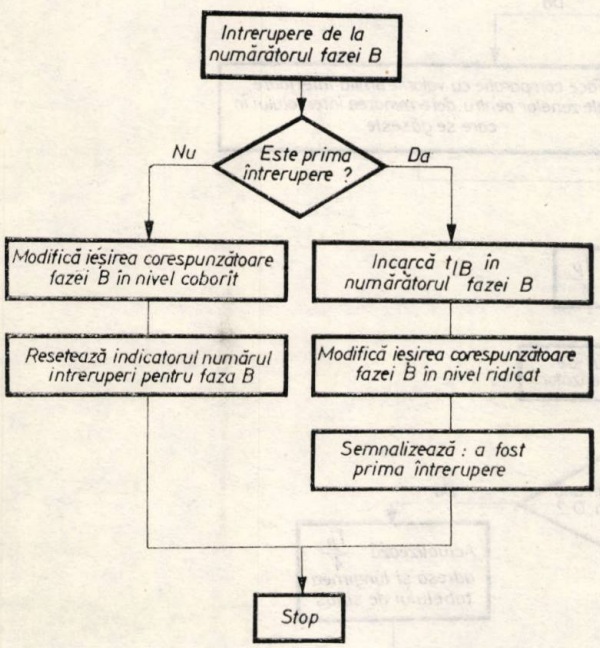


Fig. 11. Organigrama subrutinei de întreruperi pentru faza B.

alege tabelul cu valori de sinus corespunzător. Modificarea frecvenţei se realizează cînd tensiunea de ieşire se anulează prin una din faze.

Pentru compensarea căderii de tensiune în rezistenţa statorică se prevede, la frecvenţe reduse, majorarea valorii k. Pentru valori ale frecvenţei $f_m \leqslant 2{,}8$ Hz, k este majorat cu 100%, pentru 2,5 Hz $\leqslant f_m \leqslant$ 5,2 Hz, este majorat cu 40%, pentru frecvenţe 5,2 Hz $\leqslant$ $\leqslant f_m \leqslant 10$, 4Hz, este majorat cu 10%. Pentru frecvenţe mai mari de 10,4 Hz, k este constant.

Organigramele din figurile 10, 11, 12, 13 prezintă etapele de bază ale programului.

Pentru faza A, organigrama este prezentată în figura 10. Pentru fazele B şi C modul de lucru este identic. În figura 11 se prezintă organigrama pentru faza B.

Subrutina care calculează valorile timpilor t_1 şi t_p pentru fiecare fază realizează determinarea timpilor de comutaţie în avans cu o perioadă a semnalului purtătoarei (fig. 12).

Programul de modificare a perioadei de ieşire T_m reprezintă nivelul de bază al comenzii

(fig. 13). Toate celelalte rutine sînt acționate de întreruperi care opresc programul de bază și după terminarea rutinei repornesc efectuarea acestui program. Pentru scurtarea duratei de calcul de la portul de intrare se citește valoarea $T_m/48$, astfel încît pentru a obține valoarea $T_p/4$ nu sînt necesare decît împărțiri cu 16, 8, 4 și 2, care se pot realiza ușor, printr-o simplă shiftare la dreapta în acumulatorul microprocesorului.

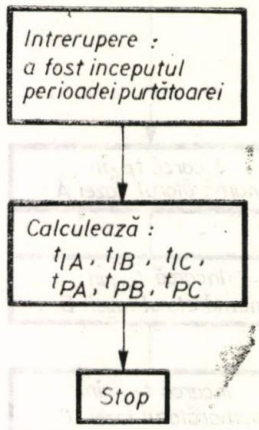


Fig. 12. Organigrama pentru calculul timpilor t_i și t_p.

4. Rezultate experimentale

Încercările au fost realizate în vederea alimentării cu frecvență variabilă a unui motor asincron trifazat avînd puterea nominală de 750 W și tensiunea de linie de 220 V.

În figura 14 se observă pe ecranul osciloscopului, pe canalul 2, semnalele de întrerupere generate de ceasul programabil 8253 (pentru faza A). Se remarcă cele trei semnale de întrerupere în timpul unei perioade a undei purtătoare. Pe canalul *1* apare semnalul de la portul de ieșire corespunzător fazei *A*.

Figura 15 prezintă pe canalul *1* semnalul de intrare de la optocuplor în circuitul de aprindere, iar pe canalul *2* semnalul de comandă pe poarta tiristorului cu stingere pe poartă.

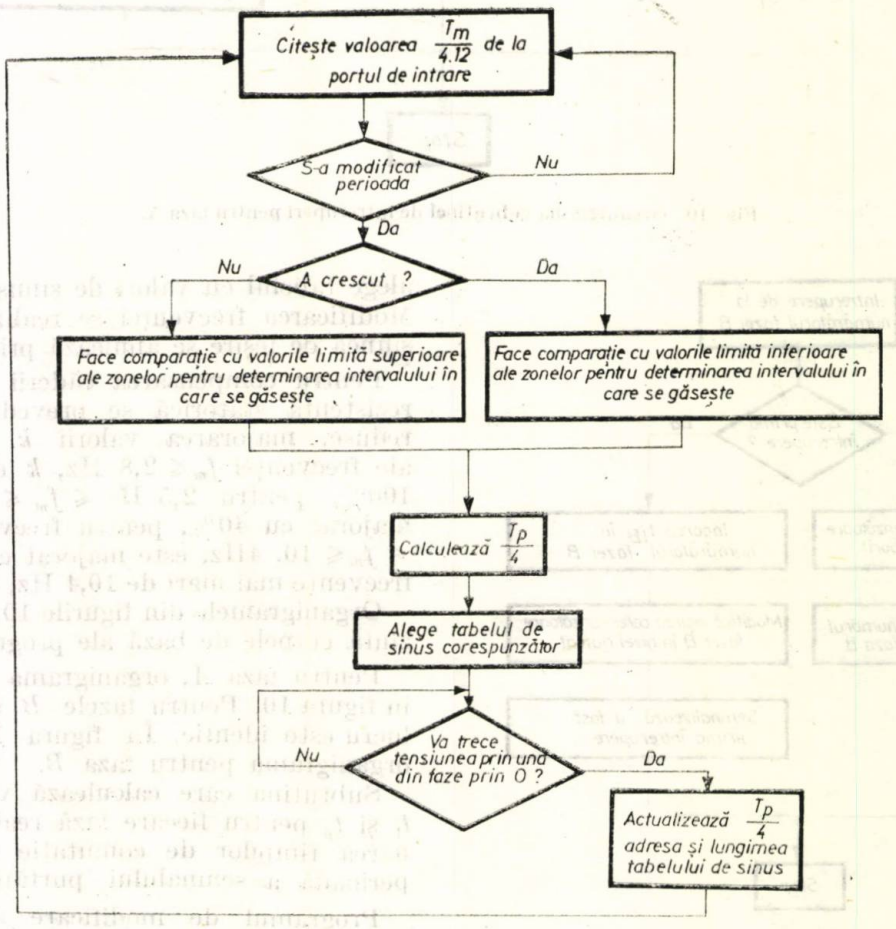


Fig. 13. Organigrama programului de modificare a frecvenței.

Figura 16 prezintă tensiunea de linie modulată în durată avînd 12 pulsuri pe o perioadă la o frecvență de ieșire de 58 Hz.

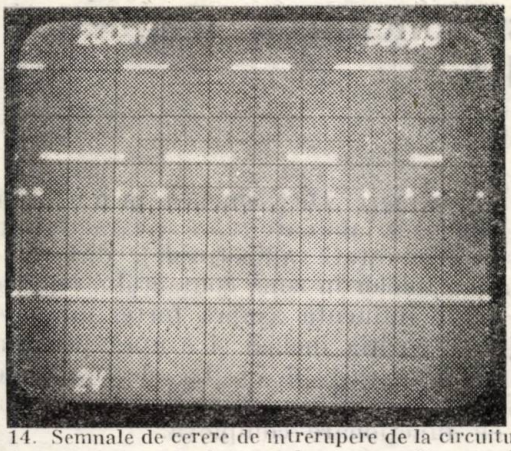


Fig. 14. Semnale de cerere de întrerupere de la circuitul 8253 (jos) și ieșirea de la portul corespunzător (sus).

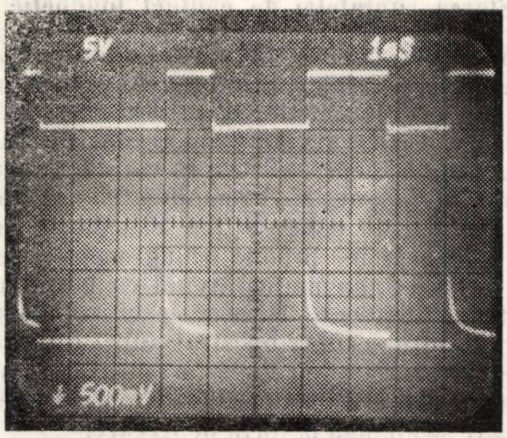


Fig. 15. Semnale în circuitul de aprindere: sus de la optocuplor, jos semnalul pe poarta tiristorului.

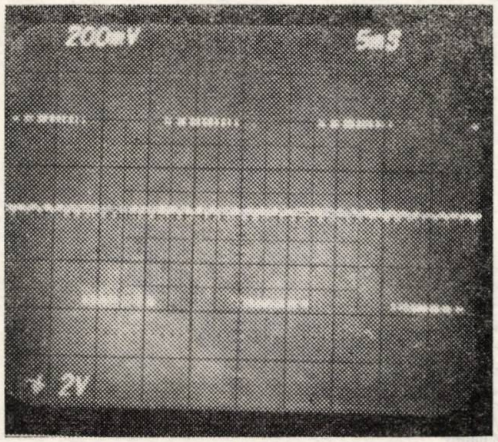


Fig. 16. Tensiunea de ieșire modulată în lățime cu frecvența de 58 Hz și cu 12 pulsuri pe perioadă.

5. Concluzii

Utilizarea tiristoarelor cu stingere pe poartă (GTO) conduce la simplificarea schemei de forță, ceea ce necesită însă o atenție deosebită, acordată protecției la supratensiuni du/dt și la viteza de creștere a curentului di/dt.

Folosirea microprocesoarelor de opt biți cu procesare serială limitează frecvența de ieșire a convertizorului pentru cazul de față la 80 Hz pentru un microprocesor de tip Intel 8085 cu ceas de 2,5 MHz, frecvență evident majorată în cazul utilizării unor procesoare de 8 biți mai evoluate, ca Z-80, sau Intel 8088, sau de 16 biți, ca Intel 8086, Motorola 68000 etc ... Soluția optimă rămîne însă utilizarea circuitelor specializate VLSI.

La realizarea părții de forță a convertizorului static de frecvență și-au adus un aport deosebit inginerii Mihai Chiș și Mihai Luca de la Intreprinderea de piese radio și semiconductoare Băneasa, cărora autorii le mulțumesc.

Bibliografie

[1] *Bowes, S. R., Mech, M. E., Mount, M. J.* Microprocessor control of PWM invertors. In: Proc. IEE, **129**, (6), 1981, p. 293—305.

[2] *Bowes, S. R.* New sinusoidal pulse width-modulated invertor. Proc. IEE, **122** (11), 1975, p. 1279—1285.

[3] * * * MBLE Technical publication 005 (1981).

[4] *Fransua, Al., Măgureanu, R.* Electrical machines and drive systems. Technical Press., Oxford, 1984.

[5] *Yatsuo, T., Nagano, T., Fukui, H.* Ultra high-voltages high current gate turn-off thyristors. IPEC Conference record Tokyo, 1983, p. 65—75.

[6] *Grant, D. A.* The use of ratio changing in p.w.m. invertors' Eurocon'80, Stuttgart, p. 420—422.

[7] *Sone, S., Okumura, I.* The microprocessor in railway control systems. În: Microprocessors in signal processing measurement and control. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1983, p. 411—435.

[8] *Pollmann, A.* Comparison of p.w.m. modulation techniques, Conference record, Darmstadt, 1982, p. 231—236.

CZ 621.316.5 : 621.317.39

CONTACT
SUPRAFAȚĂ DE CONTACT
FORȚĂ DE ATRACȚIE

Suprafața de contact magnetic și solicitarea magnetică a acesteia (II).

IACOB SUCIU * — TIMIȘOARA

Generalități

Lucrarea de față constituie continuarea articolului „Contactul magnetic — un nou element de circuit și catastrofa magnetică în întrefier (I)", publicat de autor în [1]. Astfel, prin analogie formală cu contactul electric, se descrie *suprafața de contact magnetic* și pe baza solicitării magnetice a pieselor polare se prefigurează *influența ce o manifestă această suprafață asupra forței de atracție*, exercitată în zona întrefierului de lucru al electromagnetului.

Într-un contact magnetic, cînd armătura mobilă este total atrasă și atinge armătura fixă, întrefierul de lucru se micșorează la minimum, ecartul dintre armături fiind determinat de tehnologia de prelucrare a suprafețelor polare, care realizează contactul magnetic. În acest caz inductivitatea bobinei este funcție de permeanța acestui întrefier tehnologic și de întrefierurile parazite.

În practică, la contactoarele de curent alternativ, pentru calcule preliminare, în vederea ilustrării influenței fierului circuitului magnetic și spirelor-ecran asupra curentului care trece prin bobina de excitație, se recomandă un întrefier echivalent (fictiv), de ordinul $0{,}2 \div 0{,}7$ mm, care, evident, nu corespunde realității, fiind exagerat de mare. De asemenea, prin utilizarea tablei silicioase laminate (care se caracterizează printr-o pronunțată anizotropie), direcția de laminare a tolelor în zona contactului magnetic are o mare influență asupra forței minime de atracție (la poziția închis) și asupra permeabilității relative (μ_r) [6, 7]. La electromagneții cu spiră-ecran polii constituie un contact magnetic cu funcționare complexă.

1. Starea suprafeței de contact magnetic

Suprafețele polare, definite pe desen prin dimensiunile nominale, prin prelucrare mecanică nu se pot obține netede, ci primesc o anumită asperitate, caracterizată prin gradul de rugozitate, care influențează asupra caracteristicilor contactului magnetic. Proeminențele suprafețelor metalice în contact (fig. 1), chiar la proporții microscopice produc o angrenare a celor două piese feromagnetice, avînd ca efect creșterea forței de frecare. De asemenea, trebuie luat în considerație că într-un strat subțire la frontierele de contact, pe lîngă forțele electromagnetice de atracție, se produc atracții moleculare, care se adaugă la forța de frecare.

Proeminențele și depresiunile a două suprafețe polare care vin în atingere se deformează

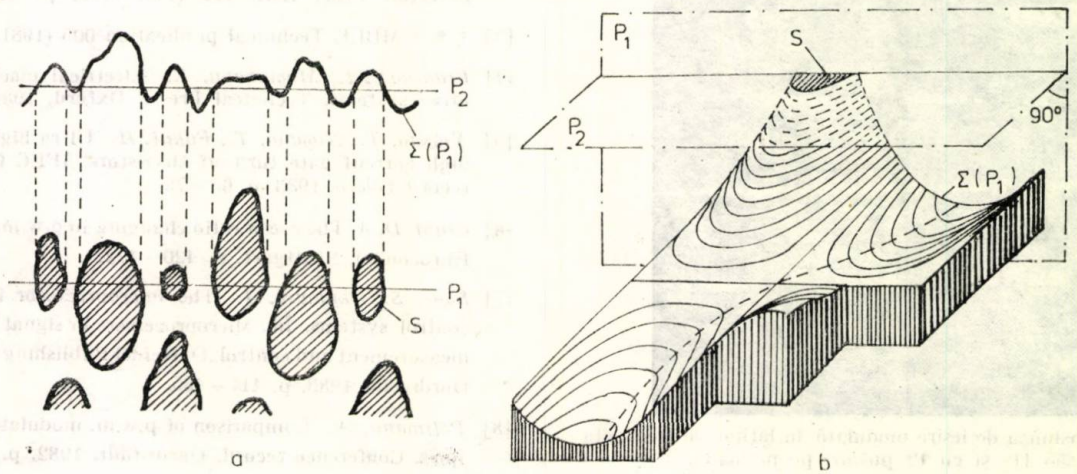


Fig. 1. Profilul unor microneregularități în suprafața de contact magnetic: a — microneregularități ($\Sigma(P_1)$), (profil în planul de secționare P_1 perpendicular pe suprafață și vedere de sus a suprafeței cu proeminențele secționate de planul P_2); b — imaginea spațială idealizată a unei proeminențe cu secțiune orizontală eliptică (S) în planul de secționare P_2, paralel cu suprafața de contact [5, 8].

elastic și plastic, funcție de forța de apăsare. Petele de atingere astfel obținute vor fi, cores-

* Prof. dr. ing. *Suciu, I.* — Catedra de electroenergetică, Institutul politehnic „Traian Vuia"-Timișoara.

punzător, elastice și plastice. Dacă între cele două suprafețe începe o alunecare, atunci în locurile de contact se produce distrugerea suprafețelor suprasolicitate, în principal în zonele plastice. Contactul suprafețelor în cîteva puncte de atingere influențează asupra conducției electrice și termice și, de asemenea, asupra *distribuției inducției* magnetice.

Forma, înălțimea și repartiția proeminențelor la suprafața corpului, sînt factorii principali care determină întregul proces de realizare a contactului magnetic.

Indiferent de modul prelucrării, suprafețe absolut netede nu există. Funcție de mijlocul de prelucrare a pieselor există fie o direcție determinată în distribuția și forma proeminențelor, fie o structură omogenă a suprafeței după orice direcție [5].

La prelucrări mecanice prin așchiere, rezultă, evident, că suprafața corpului solid are o structură vizibil orientată după direcția de lucru a sculei, evidențiată prin rizuri paralele. Distribuția aparent uniformă a proeminențelor, după toate direcțiile paralele cu suprafața (determinată de profilul nominal al piesei), se obține la metodele de prelucrare fără o direcție preferențială, cum ar fi la șlefuirea specială cu masă rotitoare, electropolisarea, depunerea electrolitică, turnarea de precizie, presarea, prelucrarea prin scîntei electrice etc.

În figura 2, funcție de felul prelucrării mecanice prin așchiere, se prezintă trei tipuri de

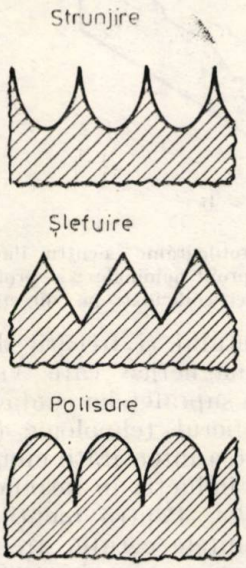


Fig. 2. Profilul neregularităților funcție de modul de prelucrare mecanică (formă idealizată) [5].

profile ale neregularităților superficiale la suprafața de discontinuitate a pieselor polare. Astfel, profilograma cu vîrfuri foarte ascuțite este specifică prelucrării prin strunjire, profilograma cu vîrfuri unghiulare, este caracteristică pentru șlefuire, iar vîrfurile rotunjite, pentru polisare [5]. Pe lîngă profilogramă interesează și caracteristica volumică a microreliefului suprafeței, pentru a se putea aprecia mai bine capacitatea portantă și rezistența la uzură a piesei polare.

Precizia prelucrării pieselor polare, care intră în contact magnetic, se caracterizează prin calitatea și precizia suprafețelor prelucrate cu mașini unelte. După operațiile de prelucrare prin așchiere, cum ar fi, strunjirea, frezarea, rabotarea, rectificarea etc., pe suprafețele polare de contact rămîn asperități (microneregularități) (fig. 3), a căror formă și mărime depind de felul și regimul operației de prelucrare, de natura materialului etc.

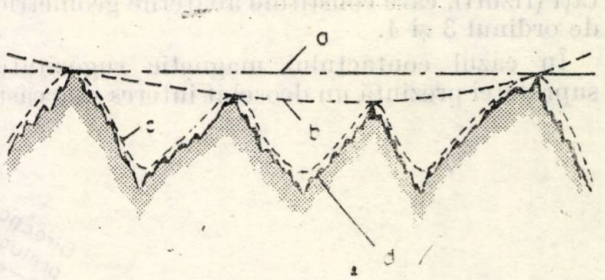


Fig. 3. Abaterile geometrice ale suprafețelor prelucrate prin așchiere (secțiune prin piesa polară): a — direcția generală a profilului (profilul nominal); b — modificare (abatere) de formă (abateri de ordinul 1); c — ondulații periodice (abateri de ordinul 2); d — profilul efectiv al rugozității (striații, rizuri —abateri de ordinul 3 și smulgeri, pori, etc., abateri de ordinul 4).

Factorii care caracterizează contactul magnetic între piesele polare se pot diviza în două grupe [5]: *geometrici* (rugozitatea, ondulația, macroabaterile, mărimea ecartului de apropiere, aria suprafeței de contact etc., și *fizici* (elasticitatea, plasticitatea, duritatea, intensitatea cîmpurilor moleculare de suprafață etc.).

Într-un contact magnetic interesează în primul rînd *rugozitatea* suprafețelor pieselor polare, care se evidențiază prin imaginea geometrică a formei microneregularităților acestor suprafețe [4]. De asemenea, suprafețele prelucrate prin așchiere prezintă abateri sub formă de *ondulații*, caracterizate prin denivelări periodice, care sînt provocate de vibrațiile periodice ale sistemului sculă-piesă polară, în procesul de prelucrare.

Din punct de vedere a solicitării magnetice a suprafeței piesei polare interesează *starea geometrică* a acestei suprafețe (fig. 3), care este caracterizată prin abaterile geometrice ale piesei polare reale în raport cu suprafața definită geometric prin documentația tehnică de prelucrare.

În figura 3 se prezintă *abaterile geometrice* ale suprafețelor, care sînt clasificate în abateri de ordinul $1 \div 4$ (STAS 5730/1-75). Abaterea geometrică de ordinul de mărime 1 se referă la abateri de formă, abaterea de ordinul 2 — la

ondulații, de ordinul 3 — la striații (periodice sau pseudoperiodice), de ordinul 4 — la smulgeri (sau urme de sculă, goluri și pori), ultimele ordine (3 și 4) definind *rugozitatea suprafeței* [4].

Mijloacele de evaluare a stării suprafeței se referă la metoda de investigare *de suprafață*, prin utilizarea calibrelor, microscopului stereoscopic, rugozimetrelor, diverselor aparate optice, etc. și la metoda *de profil*, care necesită palpatoare electronice, microscoape cu secționare luminoasă sau cu interferență etc. [4].

Rugozitatea unei suprafețe, așa cum s-a menționat, este determinată de asperitățile (microneregularitățile) rămase în urma procesului de așchiere, fiind deci ansamblul acestor neregularități (rizuri), care constituie abaterile geometrice de ordinul 3 și 4.

În cazul contactului magnetic rugozitatea suprafeței prezintă un deosebit interes și aceasta se prescrie prin parametrul R_a — abaterea medie aritmetică a profilului și parametrul R_z — adîncimea medie a rugozității în zece puncte (pentru amănunte se recomandă [4] p. 632 și 633 și tabelul 16.7 în care se indică valorile rugozităților care se obțin prin diferite operații de prelucrare).

Conform recomandărilor din [4] se pot da cîteva exemple de alegere a rugozității R_a în diferite aplicații de contacte. Astfel, $R_a50 \div R_a100$ se referă la suprafețe grosolane neprelucrate; $R_a12{,}5 \div R_a25$ — la suprafețe de contact grosolane, fără mișcare (la piese mari și grele); $R_a6{,}3$ — la suprafețe de contact nesolicitate mecanic; $R_a3{,}2$ — la suprafețe de contact fără mișcare, transmisii de uzură redusă etc.; $R_a1{,}6$ — la suprafețe de contact puțin solicitate mecanic etc.; $R_a0{,}4$ — la tensiuni mecanice de contact mijlocii etc.; $R_a0{,}025$ — la tensiuni mecanice de contact relativ mari. În tabelul 16.7 din [4] se indică, de asemenea, clasa de calitate, de la 1 la 14, corelate cu valoarea parametrului R_a al rugozității, în μm, de la $100 \div 0{,}012$, corespunzător cu grupele de prelucrare: degroșare ▽, seminetedă ▽▽, netedă ▽▽▽ și foarte netedă ▽▽▽▽. Pe desenele tehnice notarea datelor privind starea suprafețelor de contact se face conform prescripțiilor STAS 612—75.

2. Solicitarea magnetică a suprafeței de contact magnetic

În cazul platourilor electromagnetice [2] înălțimea microneregularităților se află între limitele a $1{,}6 \div 6{,}3$ microni. Aceste rizuri, după un timp de funcționare se orientează haotic, ca urmare impactului și frecării de alunecare a pieselor feromagnetice care vin în contact.

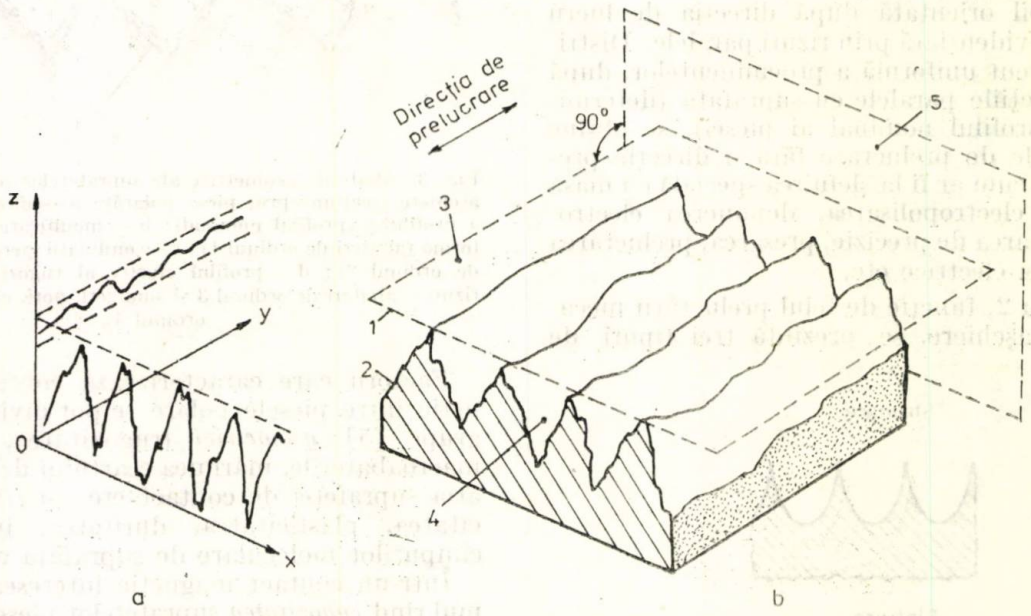


Fig. 4. Aspectul rugos al unei suprafețe prelucrate prin așchiere [4, 5]: a — profilograme pentru ilustrarea rugozității transversale (Ox) și longitudinale (Oy); b—suprafață prelucrată prin așchiere; *1* — profil nominal; *2* — profil efectiv; *3* — suprafață nominală; *4* — suprafață efectivă (reală); *5* — plan de secționare perpendicular pe direcția de prelucrare.

Rugozitatea suprafețelor contactului magnetic mărește întrefierul tehnologic (δ_t), astfel, la aceeași valoare a intensității cîmpului magnetic se micșorează inducția în întrefier și deci *scade forța de atracție*. Pentru menținerea forței de atracție în limitele cerute, trebuie prevăzută în calcule valoarea acestui întrefier.

Pentru studiul contactului magnetic se impun trei deziderate importante: a) clarificarea modului în care se realizează atingerea pieselor feromagnetice sub acțiunea forței electromagnetice de atracție; b) valoarea întrefierului tehnologic, stabilit între piesele contactului magnetic și c) influența ce o manifestă acest întrefier asupra forței electromagnetice de a-

tracție. Astfel, Konstantinov O. Ia. [2], printr-o serie de experiențe interesante, punînd în contact două suprafețe plane, din materiale de oțel diferite și apăsîndu-le pînă la presiunea de contact de circa 18 kgf·cm^{-2}, a constatat, cu ajutorul undografului, că aspectul asperităților celor două piese solide aflate în contact, își păstrează, ca formă generală, caracterul inițial (vezi profilogramele din fig. 5). Acest lucru conduce la concluzia că între cele două piese în contact *se menține un întrefier și că atingerea acestora se realizează numai în cîteva puncte*, concluzii similare ca la contactele electrice.

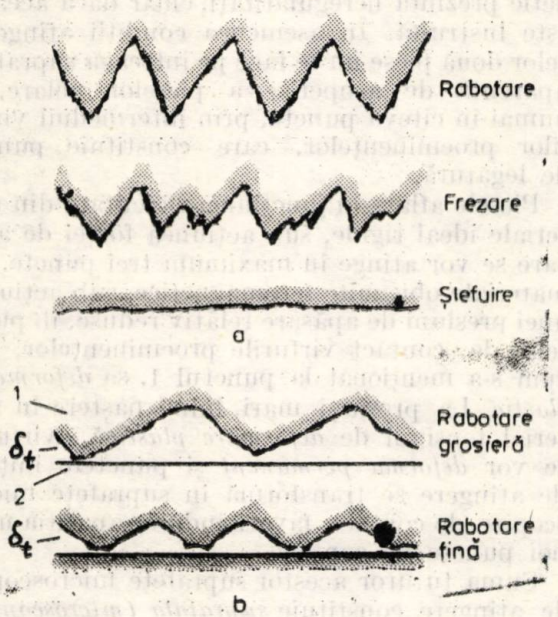


Fig. 5. Profilogramele suprafețelor pieselor prelucrate prin metode diferite după ce au fost presate pe o suprafață șlefuită (a) și aspectul contactului magnetic dintre piesa prelucrată și suprafața șlefuită a unui platou magnetic (b); *1* — piesa prelucrată; *2* — platou cu suprafața netedă; δ_t — întrefier tehnologic [2].

Experimentul efectuat a dus la clarificarea caracterului atingerii piesei cu platoul neted, putînd evidenția următoarele concluzii [2]: a) prin prelucrarea grosieră a pieselor contactul magnetic are cel mai mic număr de puncte de atingere: b) numărul punctelor de atingere depinde de duritatea materialului (la duritate mică crește numărul punctelor de contact, micșorîndu-se întrefierul tehnologic); c) geometria suprafeței de contact este complexă, întrefierul neputîndu-se defini în mod simplist prin distanța aparentă dintre suprafețele polare (sau la platouri distanța dintre piesă-pol), inducția magnetică, intensitatea cîmpului magnetic și lungimea circuitului magnetic sînt legate între ele și depind de valoarea acestui întrefier, care în cazul considerat este variabilă; d) caracterul distribuției inducției în întrefierul tehnologic, determinat de neregularitățile microscopice ale suprafețelor contactului magnetic se poate ilustra în primă aproximație prin spectrul liniilor de cîmp ale fluxului magnetic ce străbate întrefierul (fig. 6); întrefierul tehnologic este determinat de o serie de șanțuri paralele în spațiul cărora cîmpul este mai slab și poate fi perturbat de existența bavurilor sau așchiilor feromagnetice ($\mu \gg \mu_0$); e) în cazurile cînd rugozitatea suprafeței de contact (a piesei de prelucrat) depășește o anumită valoare (de exemplu, clasa ∇7, după [2]) întrefierul tehnologic este foarte redus și valoarea lui poate fi estimată la circa 5÷7 microni. Această valoare redusă produce evident o foarte mică cădere de tensiune magnetică pe întrefier.

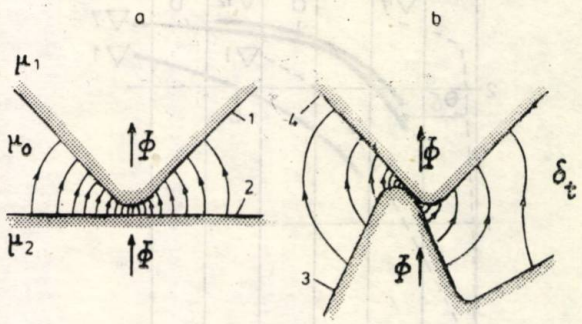


Fig. 6. Spectrul cîmpului magnetic în întrefierul tehnologic (δ_t) al contactului magnetic cu asperități: a — profilogramă idealizată vîrf-plan; b — profilogramă idealizată vîrf-vîrf; *1* — piesă de prelucrat; *2* — placă polară netedă (platou); *3* și *4* — piesele polare ale contactului magnetic (cu flancurile proeminențelor netede, neglijîndu-se rizurile); Φ — fluxul magnetic.

Influența rugozității asupra forței de atracție s-a aflat pe calea determinării curbelor de magnetizare ale circuitului magnetic (fig. 7). Se constată că odată cu creșterea solenației (θ_Σ)

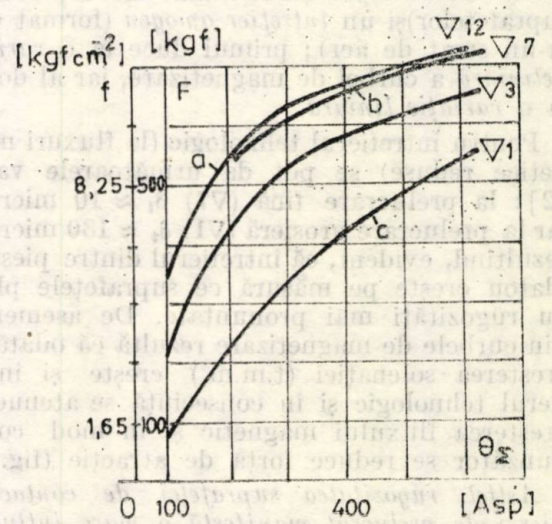


Fig. 7. Influența rugozității asupra forței de atracție (portante), folosind curbele de magnetizare $\Phi = f(\theta_\Sigma)$ și corespunzător forța $F = f(\Phi) = f(\theta_\delta)$, [2]; a — prelucrare fină; b — prelucrare medie; c — prelucrare grosieră.

crește și forța de atracție (F); la prelucrare relativ fină ($\nabla 3 \div 12$), prin creșterea solenației, la început forța crește rapid, ca apoi această creștere să fie neinsemnată. Întrefierul produs de asperitățile din contactul magnetic este un întrefier parazit.

Din figura 8 se poate afla căderea de tensiune magnetică (θ_δ), care corespunde întrefierului tehnologic (parazit), determinat de neregularitățile rezultate din prelucrarea suprafețelor în contact. La cîmpuri mari, datorită saturației

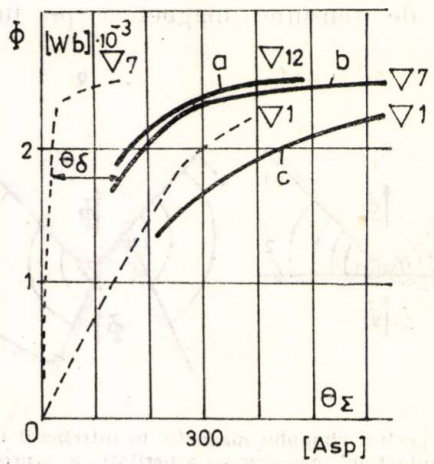


Fig. 8. Curbele de magnetizare pentru determinarea întrefierului produs de asperități [2]: a — prelucrare fină; b — prelucrare medie; c — prelucrare grosieră; θ_δ — cădere de tensiune magnetică pe întrefierul tehnologic.

vîrfurilor asperităților de contact dintre piesă și platou, nu mai există o variație liniară între flux și solenație, așa cum se întîmplă la întrefierul omogen, format dintr-un strat de aer. Astfel, trebuie să se facă distincție între un *întrefier tehnologic* (determinat de asperitatea suprafețelor)și un *întrefier omogen* (format dintr-un strat de aer); primul duce la o *variație neliniară* a curbei de magnetizare, iar al doilea la o *variație liniară*.

Pentru întrefierul tehnologic (la fluxuri magnetice reduse) se pot da următoarele valori [2]: la prelucrare fină ($\nabla 7$) $\delta_t \approx 10$ microni, iar la prelucrare grosieră ($\nabla 1$) $\delta_t \approx 130$ microni, rezultînd, evident, că întrefierul dintre piesă și platou crește pe măsură ce suprafețele plane au rugozități mai pronunțate. De asemenea, din curbele de magnetizare rezultă că odată cu creșterea solenației (t.m.m.) crește și întrefierul tehnologic și în consecință se atenuează creșterea fluxului magnetic și în mod corespunzător se reduce forța de atracție (fig. 7).

Astfel, rugozitatea suprafeței de contact a piesei de prelucrat manifestă o mare influență asupra forței de atracție dezvoltată de polii platoului datorită prezenței întrefierului tehnologic, determinat de o anumită clasă de rugozitate. Mărimea acestui întrefier, funcție de clasa de rugozitate, variază între limitele $5 \div 130$ microni [2] și chiar mai mult, cînd intervin impurități pe suprafețele de sprijin ale piesei și platoului.

3. Aria suprafeței reale de contact magnetic

În cazul electromagneților de acționare (contactoare), care funcționează cu ciocniri repetate, aspectul suprafețelor se schimbă mereu, deci în baza celor constatate mai sus se va schimba și forța de atracție.

Astfel, așa cum s-a arătat mai sus, suprafața pieselor metalice care realizează contactul magnetic prezintă neregularități, chiar dacă aceasta este lustruită. În asemenea condiții atingerea celor două piese nu se face pe întreaga suprafață aparentă de acoperire a pieselor polare, ci numai în cîteva puncte, prin intermediul vîrfurilor proeminențelor, care constituie punțile de legătură.

Piesele aflate în joncțiune, executate din materiale ideal rigide, sub acțiunea forței de apăsare se vor atinge în maximum trei puncte. La materiale obișnuite feromagnetice, sub acțiunea unei presiuni de apăsare relativ reduse, în punctele de contact vîrfurile proeminențelor, așa cum s-a menționat la punctul 1, se *deformează elastic*. La presiuni mari, luînd naștere în material tensiuni de *deformare plastică*, vîrfurile se vor *deforma permanent* și punctele inițiale de atingere se transformă în suprafețe microscopice de contact, favorizîndu-se apariția unor noi puncte de contact.

Suma tuturor acestor suprafețe microscopice de atingere constituie *suprafața (microscopică) reală totală de contact* A_r *a cărei arie este considerabil mai mică decît aria* A_a *a suprafeței (macroscopice) aparente de contact.*

Dimensiunile și numărul suprafețelor reale de contact n depind de rezistența mecanică de strivire σ a materialului pieselor care vin în contact și de forța F de acționare asupra pieselor.

Spre deosebire de platourile electromagnetice și magnetice, unde *forța se manifestă în regim static*, la electromagneții contactoarelor *forța exercitîndu-se dinamic* influențează esențial structura suprafețelor de contact care se modifică în timp, funcție de numărul ciocnirilor armăturilor.

Prin urmare, aria totală reală de contact, în cazul cînd presiunea de apăsare p pe această suprafață este presupusă uniformă ($p = \sigma$), se calculează din relația [3]:

$$A_r = \sum_{j=1}^{n} A_{rj} = \frac{F}{p} = \frac{F}{\sigma}, \qquad (1)$$

în care forța F este o mărime care se poate determina experimental, iar σ se poate obține din tabele, funcție de materialul pieselor feromagnetice. Pentru oțel-oțel, OL 38, $\sigma \approx 12$ kgf·mm^{-2} ≈ 118 N·mm^{-2}.

Presiunea p în diferitele puncte de contact nu este aceeași și poate provoca în unele dintre acestea o deformare elastică, iar în altele — plastică. În ipoteza descreșterii liniare a presiunii în suprafețele microscopice, maximă în centru și nulă la margine, presiunea medie în aceste suprafețe microscopice de atingere ar fi $p_{med} = \sigma/2$, iar aria suprafeței microscopice corespunzătoare devine egală cu [3]:

$$A_r = \frac{2F}{\sigma}. \qquad (2)$$

Pentru suprafețele plane prezintă importanță raportul A_r/A_a, care are o valoare foarte mică. Un exemplu numeric ne va da o imagine mai clară calitativă și cantitativă asupra fenomenului de contact între două suprafețe plane din material feromagnetic.

Problemă. Să se determine aria reală totală de contact (atingere) A_r, care se realizează între două suprafețe plane, cu aria aparentă de contact $A_a = 25 \times 20 = 500$ mm^2, ale unor poli feromagnetici, turnați din OL 38, asupra cărora se exercită o forță de atracție statică $F = 150$ N.

Rezolvare. Cunoscînd că pentru OL 38 rezistența de strivire $\sigma \approx 118$ N · mm^{-2}, din (1) rezultă:

$$A_r = \frac{F}{\sigma} = \frac{150}{118} = 1{,}2712 \text{ mm}^2,$$

adică $\frac{A_r \cdot 100}{A_a} = \frac{127{,}12}{500} = 0{,}2543\%$ din aria suprafeței polare aparente de contact.

La electromagneții în ulei intervalul de contact dintre poli de regulă se află în imersiune și astfel, în întrefierul tehnologic există o peliculă de fluid al cărei prim strat monomolecular poate să adere pe suprafețe cu o presiune de ordinul sutelor de atmosfere, necesitînd pentru deplasarea peliculei presiuni de același ordin. În practică însă nu se ține seama de existența acestei pelicule perturbatoare, care se comportă ca un material nemagnetic. Dacă fluidul ar avea însușiri paramagnetice, atunci s-ar compensa acțiunea negativă a întrefierului parazit dintre cele două piese polare.

Toate noutățile privind configurația suprafețelor de contact electric, particularizate pentru materiale feromagnetice sînt valabile și pentru contactul magnetic.

Trebuie menționat că spre deosebire de contactele electrice, unde curentul electric (suferind o stricțiune) poate trece, în cel mai favorabil caz, prin suprafața microscopică de arie A_r, la contactele magnetice fluxul magnetic traversează întreaga suprafață aparentă de arie A_a. Continuarea acestui articol se va referi la influența suprafețelor de contact magnetic asupra forței de atracție.

Bibliografie

[1] *Suciu, I.* Contactul magnetic — un nou element de circuit și catastrofa magnetică în întrefier (I). Revista Electrotehnica (EEA), **32**, nr. 5, 1984, p. 169–174.

[2] *Konstantinov, O. Ia.* Rasciot i konstruirovanie magnitnih i elektromagnitnih, prisposoblenii. Leningrad, Izd. Mașinostroenie, 1967.

[3] *Suciu, I.* Bazele echipamentelor electrice. Timișoara, Editura Facla, 1980.

[4] *Georgescu, G.* Îndrumător pentru ateliere mecanice. București, Editura tehnică, 1978.

[5] *Diacenko, P. E.* și alții. Ploșciad fakticeskovo kontakta sopriajionih poverhnostei. Moskva, Izd. Akad. Nauk, SSSR, 1963.

[6] *Vasilievici, A.* și *Moldovan, L.* Elemente de tehnologie a aparatelor de joasă tensiune. Timișoara, Editura Facla, 1981.

[7] *Panaite, V.* Forța minimă de atracție la electromagneții monofazați. București, Bul. Inst. polit. **Tom. XXIV**, Fasc. 2, aprilie-iunie, 1962.

[8] *Ianke, E.* și *Emde, F.* Tabliți funkții s formulami i krivimi. Moskva-Leningrad, GITTL, 1949.

CZ 621.3.018.44 : 621.313.045.13

MOTOR DE C.C.
REGIM DINAMIC
VÎRF DE CURENT

Regimurile dinamice ale sistemelor de acționare electrică cu mașini de curent continuu

MATILDA ȚIGLER, SANDA CĂNESCU* — BUCUREȘTI

Studiul regimului dinamic al motoarelor de c.c. cu excitație independentă, evidențiază valori ridicate ale curentului din circuitul rotoric. În lucrare se determină curentul rotoric în regim tranzitoriu pentru motoare de c.c. cu excitație independentă fabricate în țară și se fac recomandări privind utilizarea aparaturii de comandă necesare.

1. Modelul matematic al motorului de c.c. cu excitație independentă

Comportarea motorului de c.c. cu excitație independentă este caracterizată de ecuațiile:

$$\begin{cases} u = Ri + L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + K\Omega \\ Ki = J\dfrac{\mathrm{d}\Omega}{\mathrm{d}t} + F\Omega + M_s, \end{cases} \tag{1}$$

în care:

J este momentul de inerție al ansamblului motor-sarcină, Ω — viteza unghiulară; i = curentul prin rotor; M_s — cuplul de sarcină care include și cuplul corespunzător pierderilor în fier rotorice ale motorului; K — coeficientul constant de proporționalitate al tensiunii electromotoare cu viteza unghiulară Ω și, respectiv, al cuplului electromagnetic cu curentul rotoric i; $F\Omega$ — cuplul de frecări mecanice vîscoase (presupus proporțional cu viteza, F fiind un coeficient constant de proporționalitate). R și L reprezintă rezistența, respectiv inductivitatea din circuitul rotoric. La mașinile de c.c. cu excitație independentă, acestea înglobează efectul total al înfășurării rotorice, al înfășurării polilor auxiliari și eventual al înfășurării de compensare, dintre care prima are în general ponderea cea mai mare.

Sistemul de ecuații (1) poate fi scris sub forma matriceală [1]:

$$\dot{x} = Ax + Bv, \tag{2}$$

unde:

$$A = \begin{Vmatrix} -\dfrac{R}{L} & -\dfrac{K}{L} \\ \dfrac{K}{J} & -\dfrac{F}{J} \end{Vmatrix}; \qquad B = \begin{Vmatrix} \dfrac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\dfrac{1}{J} \end{Vmatrix};$$

$$x = \begin{Vmatrix} i \\ \Omega \end{Vmatrix}; \qquad v = \begin{Vmatrix} u \\ M_s \end{Vmatrix}, \tag{3}$$

A este o matrice cu coeficienți constanți (2×2), iar x este o matrice coloană (2×1), conținînd variabilele de stare i și Ω.

2. Metode de analiză a regimurilor dinamice ale motoarelor de c.c. cu excitație independentă

Analiza regimurilor dinamice ale motoarelor de c.c. cu excitație independentă poate fi efectuată cu ajutorul metodelor analitice, numerice, analogice și experimentale, fiecare din metodele enumerate prezentînd atît avantaje, cît și dezavantaje.

2.1. Metode analitice

Metodele analitice se aplică la rezolvarea sistemelor de ecuații diferențiale liniare și prezintă avantajul particularizării soluției analitice pe toată gama de variație a mărimilor ce intră în componența sa.

Sistemul de ecuații (1) care caracterizează funcționarea motorului de c.c. cu excitație independentă, fiind liniar, poate fi rezolvat pe cale analitică.

În [1] se prezintă două metode analitice pentru rezolvarea ecuațiilor de stare (2); metoda matricei de tranziție de stare și tehnica expansiunii modale, ambele permițînd să se deducă variația în timp a curentului din circuitul rotoric și a vitezei unghiulare de rotație a motorului.

Utilizînd matricea de tranziție de stare, soluția ecuației (2) este, [1]:

$$x(t) = \Phi(t - \tau) \cdot x(\tau) + \int_{\tau}^{t} \Phi(t - \lambda) Bv(\lambda)\, \mathrm{d}\lambda, \tag{4}$$

* Dr. ing. *Țigler, M.* și dr. ing. *Cănescu, S.* — Catedra de mașini electrice a Institutului politehnic — București.

unde:

$$\Phi(t) = e^{A(t)}, \tag{5}$$

reprezintă matricea de tranziție de stare a sistemului descris de ecuațiile (2) iar τ este un moment de timp fixat.

Pe baza tehnicii expansiunii modale, ecuația de stare (2) admite soluția [1]:

$$x(t) = \sum_{i=1}^{2} \langle r_i(x(0)) e^{\lambda_i t} u_i + \int_0^t \sum_{i=1}^{2} \langle r_i, Bv(\tau) \rangle e^{\lambda_i (t-\tau)} u_i d\tau, \tag{6}$$

unde valorile proprii λ_i sînt soluții ale ecuației matriceale:

$$\lambda_i I - A = 0, \tag{7}$$

fiecărei valori proprii λ_i îi corespunde un vector propriu u_i, normalizat ($|u_i|^2 = 1$), iar r_i reprezintă bazele reciproce, specificate în [2].

2.2. Metode de simulare numerică

Metodele de simulare numerică presupun utilizarea calculatoarelor electronice pentru rezolvarea problemelor de regim tranzitoriu la motoarele de c.c.

Aceste metode prezintă avantaje legate de rezolvarea în scurt timp a ecuațiilor (1), precum și posibilitatea simulării variației diverșilor parametri pentru determinarea influenței acestora asupra performanțelor de regim tranzitoriu ale motorului. Metodele de simulare numerică presupun realizarea și eventual verificarea modelului.

Pentru ușurința scrierii programului, ecuațiile (1) se scriu sub forma:

$$\begin{cases} \dfrac{di}{dt} = \dfrac{1}{L}(u - Ri - k\Phi_e\Omega) \\ \dfrac{d\Omega}{dt} = \dfrac{1}{J}(k\Phi_e i - F\Omega - M_s) \\ \Phi_e = f(i_e), \end{cases} \tag{8}$$

în care Φ_e — fluxul magnetic este funcție neliniară de curentul de excitație i_e. Ecuația $\Phi_e = f(i_e)$ se poate exprima analitic sub mai multe forme: sub formă de segmente de dreaptă, funcții hiperbolice sau trigonometrice, exponențiale etc. În cazul motoarelor de c.c. cu excitație independentă, schemele de acționare prevăd conectarea întîi a circuitului de excitație și apoi a circuitului rotoric. Calculele au arătat că regimul tranzitoriu al circuitului de excitație se amortizează după $0{,}2\ T_m$ (T_m fiind constanta electromecanică de timp), astfel că în momentul conectării circuitului rotoric se poate considera $\Phi_e = \Phi_{eN}$ corespunzător curentului nominal i_{eN}.

Sistemul de ecuații (8) se reduce la două ecuații liniare, în care se consideră necunoscute i și Ω.

Programul, scris în limbaj Fortran, utilizează o subrutină din biblioteca de programe a calculatorului, care rezolvă sistemul de ecuații diferențiale prin metoda Runge Kutta și două subrutine elaborate de utilizator;

— subrutina care introduce funcțiile ce descriu ecuațiile diferențiale;

— subrutina care tipărește rezultatele calculului pentru Ω și i în funcție de timp, variabila independentă.

În programul principal se introduc următoarele date; valorile inițiale ale mărimilor $i(0) = \Omega(0) = 0$, valoarea finală a timpului, eroarea absolută în care se calculează cele două mărimi de integrat, valoarea pasului de integrare (0,01 s), care se poate înjumătăți automat dacă eroarea de integrare este mai mare decît valoarea impusă, numărul maxim de iterații pînă la obținerea preciziei dorite.

Pentru creșterea generalității soluțiilor obținute pentru un motor oarecare, se folosește raportarea mărimilor la valorile lor nominale, notate cu indicele „N". Mărimile relative se notează cu asterisc și sînt date de relațiile;

$$i^* = \frac{i}{I_N}; \quad \Omega^* = \frac{\Omega}{\Omega_N}; \quad t^* = \frac{t}{T_{mN}};$$

$$T_{mN} = \frac{J_N \Omega_N}{M_N}; \quad m_s^* = \frac{M_s}{M_N}; \quad u^* = \frac{u}{u_N};$$

$$R^* = \frac{R}{R_N}; \quad m^* = \frac{m}{M_N}; \quad J^* = \frac{J}{J_N}. \tag{9}$$

Analiza comportării în regim tranzitoriu a motorului de c.c. cu excitație independentă s-a desfășurat în două etape;

1. Studiul influenței mărimilor u, M_s, J, R asupra turației, vîrfului de curent și cuplului. În acest scop s-a studiat comportarea unui motor cu următoarele date nominale; $P_N = 125$ kW, $U_N = 380$ V, $I_N = 360$ A, $U_{eN} = 220$ V, $n_N = 745$ rot/min, $J_N = 4{,}375$ kgm^2, $L = 1{,}15$ mH, $R = 0{,}0484\ \Omega$. Dînd diverse valori unuia din cei patru parametrii, ceilalți fiind menținuți constanți, s-a rezolvat sistemul de ecuații (8). Rezultatele sînt prezentate sub formă de curbe în figurile 1, 2, 3, 4. Se constată că:

— variația în timp a vitezei unghiulare Ω^* ca și valoarea de regim permanent a sa este puternic influențată de rezistența circuitului indusului R^* și mai puțin de momentul de inerție J^* care influențează durata regimului tranzitoriu și șocul de cuplu (fig. 1). Valoarea

cuplului maxim este influențată de valoarea rezistenței (fig. 2);

— șocul de curent egal cu 9,5 I_N se atinge după circa 0,05 T_m și este influențat de tensiunea aplicată rotorului. El nu depinde practic de

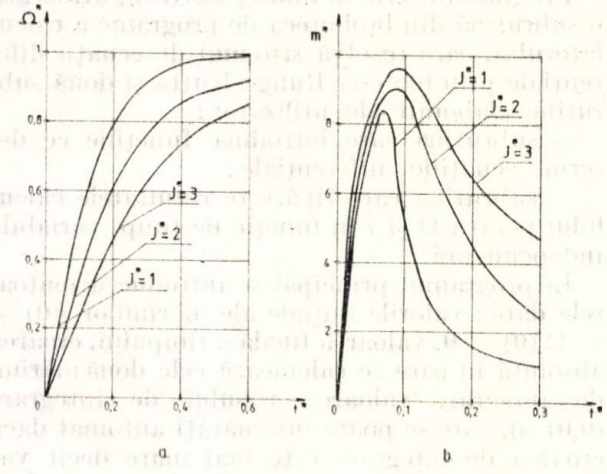


Fig. 1. Influența momentului de inerție asupra vitezei unghiulare de rotație Ω^* și cuplului m^*.

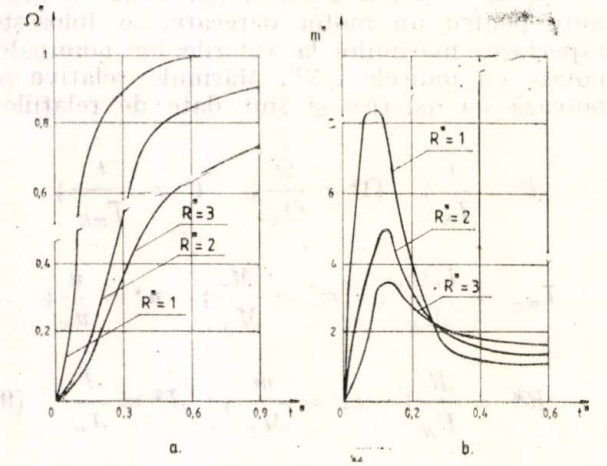


Fig. 2. Influența rezistenței circuitului rotoric asupra vitezei unghiulare de rotație Ω^* și cuplului m^*.

cuplul de sarcină m_s^* (fig. 3) și J^* (fig. 4 a). Aceste mărimi influențează asupra valorii de regim permanent și duratei regimului tranzitoriu;

— variații importante ale valorii maxime a curentului se obțin la modificarea rezistenței rotorice R^* (fig. 4 a și b). De menționat că dublarea rezistenței nu reduce șocul de curent la jumătate, ci la valori mai mari.

2. Determinarea valorii maxime a curentului în regim tranzitoriu la conectare și reconectare. Prin reconectare se înțelege conectarea circuitului rotoric la rețeaua de alimentare în timp ce rotorul se rotește datorită unei funcționări anterioare. La reconectarea normală se păstrează aceeași polaritate a tensiunii, iar la reversare se inversează polaritatea tensiunii.

Virfurile de curent s-au calculat în ipoteza în care în circuitul rotoric nu se introduc rezistențe de pornire sau reversare. Determinări făcute pentru un număr mare de motoare din fabricația IMEB au arătat că în aceste condiții valorile virfului de curent sînt la pornire $I_p = (7{,}5 \ldots 19)\, I_N$ și la reversare $I_{rev} = 2I_p =$

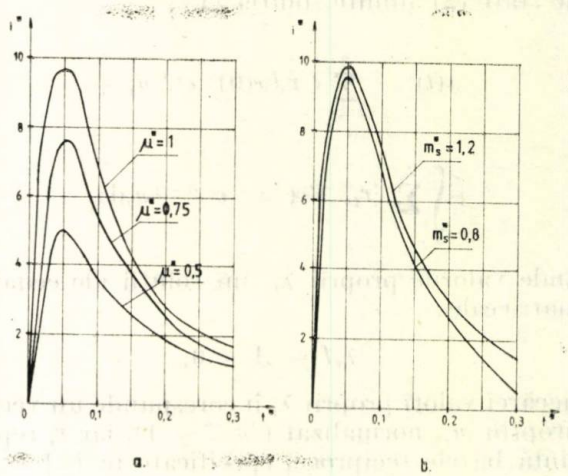


Fig. 3. Influența tensiunii de alimentare și cuplului de sarcină asupra curentului.

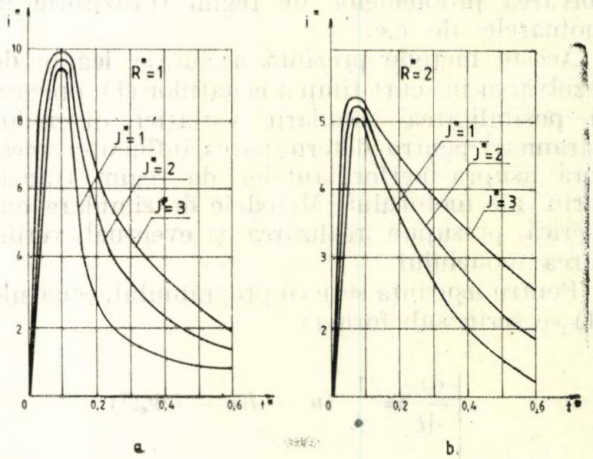


Fig. 4. Influența momentului de inerție și rezistenței circuitului rotoric asupra curentului.

$(15 \ldots 38)\, I_N$. În cazul în care se folosesc rezistențe suplimentare R_s în circuitul rotoric, valorile virfului de curent se reduc cu relația aproximativă:

$$I'_p = I_p \frac{R}{R + R_s}; \quad I'_{rev} = I_{rev} \frac{R}{R + R_s}, \tag{10}$$

în care I'_p și I'_{rev} sînt valorile corectate ale vîrfului de curent.

În cazul în care nu se cunosc parametrii înfășurărilor R și L, deci nu se poate rezolva

sistemul de ecuații (8), se propune să se considere:

$$I_p = (1{,}5 \ldots 2{,}4)\, I_{sc};$$

$$I_{rev} = (1{,}8 \ldots 2)\, I_p,$$

unde:

$$I_{sc} = \frac{U_N}{R} \quad \text{cu} \quad R = 0{,}5\,\frac{U_N}{I_N}(1-\eta_N). \tag{11}$$

Valorile inferioare se recomandă la motoare de puteri mai mici.

Valorile de vîrf ale curenților la reconectare normală I_r, depind de valoarea vitezei de rotație n_r în momentul conectării circuitului rotoric. Astfel pentru;

$$n_r = 0{,}75\, n_N, \quad I_r = (2 \ldots 2{,}5)\, I_N,$$

$$n_r = 0{,}5\, n_N, \quad I_r = (4{,}5 \ldots 6)\, I_N.$$

Relațiile (10) se aplică și valorilor de vîrf ale curenților de reconectare în cazul folosirii unor rezistențe suplimentare.

3. Concluzii

Metodele analitice și numerice recomandate în studiul regimului tranzitoriu al motoarelor de c.c. cu excitație independentă au fost utilizate pentru analiza comportării unui număr mare de motoare. Calculele au evidențiat existența unor vîrfuri de curent de valori însemnate ca și mărimile care le pot influența (u, J, M_s, R). Aceste valori ridicate ale curenților pot solicita termic bobinajele motoarelor, ca și căile de curent ale aparatelor de conectare și protecție din sistemele electrice de acționare, unde acestea se utilizează.

Bibliografie

[1] *Țigler, M., Cănescu, S.* Comportarea în regim dinamic a motoarelor de c.c. din schemele de acționări electrice. În: E.E.A. — Electrotehnica **29**, nr. 6, 1981, p. 225.

[2] *Derisso, M. P., Ray, R. J., Close, C. H.* State variable for engineering. New-York, 1971.

CZ 621.313.2

MAȘINĂ DE C.C.

Asupra posibilităților de determinare, pe cale experimentală, a asimetriei întrefierului la mașina de curent continuu cu rotorul în mișcare de rotație

OVIDIU DRĂGĂNESCU* — CRAIOVA

Generalități

Este necesară cunoașterea modului de variație a lățimii întrefierului la mașina de curent continuu, atît de-a lungul arcului polar al fiecărui pol, cît și sub polii principali, dispuși diametral electric sau geometric, rotorul fiind în mișcare de rotație, pentru a obține informații asupra asimetriei cîmpului magnetic principal [1—8].

De asemenea, pentru reglarea în mod corespunzător a comutației o importanță deosebită o prezintă cunoașterea asimetriei întrefierului sub polii auxiliari, rotorul fiind în mișcare de rotație.

În stadiul actual, lățimea întrefierului la mașina de curent continuu se determină, rotorul fiind imobil, cu ajutorul calibrelor din oțel, care se introduc în spațiul dintre rotor și polii principali sau auxiliari.

Metoda impune condiția obligatorie ca rotorul să fie imobil, deci nu furnizează informații asupra lățimii întrefierului mașinii la funcționarea sa în mișcarea de rotație, cînd mărimea acestuia este influențată de forțele centrifuge ca și de cele de natură electromagnetică. Totodată, valorile determinate sînt afectate de erori importante cauzate de starea suprafețelor polilor, a dinților rotorului, de raportul dintre raza de curbură a polului și lățimea calibrelor etc.

1. Principiul metodei propuse

Pentru determinarea asimetriei întrefierului, atît sub polii principali, cît și sub cei auxiliari, rotorul fiind în mișcare de rotație, este necesară stabilirea unei mărimi care apare atunci cînd rotorul se învîrtește. Valoarea acestei mărimi trebuie să se găsească într-o relație determinată cu dimensiunea întrefierului, iar modificarea sa la variația întrefierului trebuie să fie importantă. De asemenea, mărimea respectivă trebuie să fie ușor măsurabilă, fără să fie necesară prezența unor dispozitive dificil de amplasat sau de construcție specială.

În continuare, se prezintă modul în care se stabilește la mașinile de curent continuu, la care polii principali au suprafața netedă, o mărime care să satisfacă condițiile de mai sus.

Este cunoscut că, datorită prezenței crestăturilor, inducția creată în întrefier de cîmpul

* Dr. ing. *Drăgănescu, O.* — Universitatea din Craiova.

nductor este modulată în amplitudine (fig. 1 a). Amplitudinea undei modulate se găsește într-o relație determinată cu inducția magnetică din întrefier creată de cîmpul inductor care, la rîndul ei, este invers proporțională cu întrefierul. Amplitudinea undei modulate, în funcție de lățimea întrefierului, va fi:

$$B_{0\,max} = \frac{\mu_0}{2} U_{m\delta} \frac{\beta}{k_C \delta}, \qquad (1)$$

în care:

$U_{m\delta}$ — tensiunea magnetică pe întrefier, corespunzătoare unei perechi de poli;
μ_0 — permeabilitatea vidului;
$\beta = B_{0\,max}/B_{max}$ [2];
B_{max} — valoarea inducției în întrefier în axa longitudinală a polului principal și a dintelui rotorului;
k_C — coeficientul lui Carter;
δ — întrefierul real.

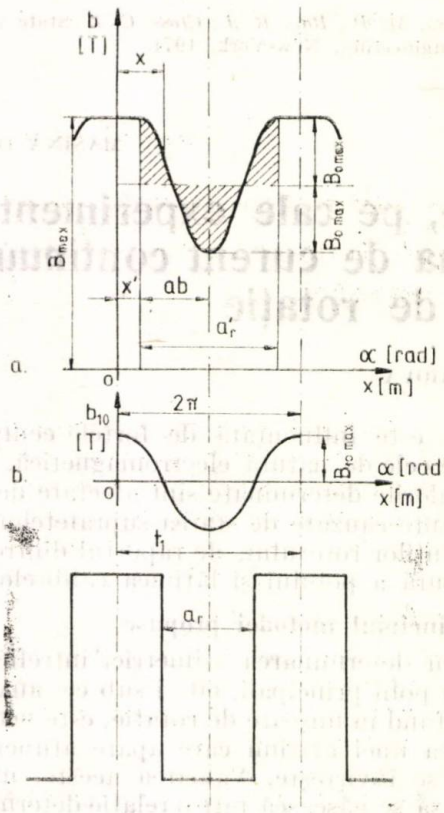


Fig. 1. a — Repartiția spațială a inducției cîmpului inductor din întrefier de-a lungul unui pas dentar rotoric;
b — fundamentala undei modulate a repartiției spațiale a inducției din întrefier.

Se consideră pe suprafața piesei polare un contur (1—1' fig. 2), care are laturile active paralele cu generatoarea suprafeței piesei polare.

Datorită învîrtirii rotorului, unda modulată, de amplitudine $B_{0\,max}$, se deplasează în raport cu piesa polară, respectiv față de conturul considerat.

Unda învîrtitoare se comportă deci ca o coroană de poli avînd $p = Z_r$ și $n = n_r$ (Z_r și n_r sînt numărul de dinți și, respectiv, turația rotorului). Ca urmare, va induce în conturul adoptat o tensiune electromotoare. Valoarea eficace a armonicii fundamentale a t.e.m., pe un pas dentar, va fi:

$$U_e = 2\sqrt{2} f l_p \frac{t_1}{2} B_{10\,max}, \qquad (2)$$

în care:

$B_{10\,max}$ — amplitudinea fundamentalei undei modulate a inducției din întrefier, pe un pas dentar (fig. 1 b);
l_p — lungimea piesei polare, respectiv a laturei active a conturului 1—1' (fig. 2);
t_1 — pasul dintelui rotoric adoptat ca perioadă a fundamentalei t.e.m.;
f — frecvența t.e.m. induse.

Între amplitudinea armonicii fundamentale și amplitudinea undei modulate a inducției există relația:

$$B_{10\,max} = k_B B_{0\,max}, \qquad (3)$$

în care:

k_B — factorul dependent de formă al undei modulate a inducției din întrefier.

Ținînd seama de (1) și (3) expresia t.e.m. va prezenta forma:

$$U_e = \sqrt{2} f l_p t_1 k_B \frac{\mu_{min}}{2} U_{m\delta} \frac{\beta}{k_C}. \qquad (4)$$

Se introduc mărimile:

$$a_r = a'_r/\sigma \qquad [2]$$

și:

$$t_1 = \varepsilon a_r = \varepsilon a'_r/\sigma,$$

semnificația lor rezultînd din figura 1.

Variația funcției $\sigma = f(a_r/\delta)$, conform [2] este reprezentată grafic în figura 4, curba *a*.

Conform [2]:

$$a'_r = \frac{\gamma\delta}{\beta},$$

reprezentînd dimensiunea dată în figura 1 de care depinde modularea undei.

Cu noile mărimi și avînd în vedere că $f = Z_r n/60$ se obține expresia fundamentalei t.e.m. indusă în conturul considerat:

$$U_e = \frac{\sqrt{2}}{2} M_0 \frac{Z_r n}{60} \frac{\varepsilon}{\sigma} k_B l_p U_{m\delta} \frac{\gamma}{k_C}, \qquad (5)$$

unde:

$$\gamma = \frac{(a_r/\delta)^2}{5 + a_r/\delta}.$$

Pentru determinarea factorului k_B se are în vedere că variația în timp a t.e.m. indusă în latura activă a spirei-sondă reprezintă, la altă scară, variația repartiției spațiale a undei modulate a inducției din întrefier. Deci factorul de formă al t.e.m. indusă în spira-sondă este același cu cel al undei modulate a inducției din întrefier.

Pentru forma de variație în timp a t.e.m. indusă în spira-sondă (fig. 2), ținînd seama și de

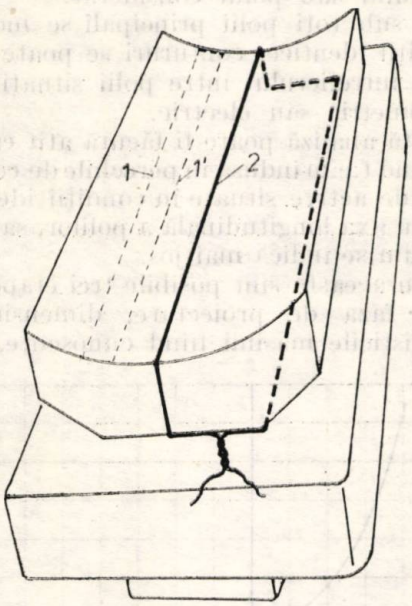


Fig. 2. Explicativă la adoptarea contururilor pe suprafața piesei polare a polului principal.

rezultatele experimentale (fig. 3), se adoptă reprezentarea grafică a inducției magnetice din figura 1a, căreia îi corespunde expresia matematică :

$$f(\alpha) = B_{max},\ \alpha \in [0, \alpha') \cup (2\pi - \alpha', 2\pi)], \tag{6}$$

$$f(\alpha) = B_{max} - B_{0\,max}[1 - \cos K(\alpha - \alpha')],$$

$$\alpha \in [\alpha', 2\pi - \alpha']$$

în care, conform figurii 1a :

$$K = \frac{x' + \overline{ab}}{\overline{ab}};\quad \alpha = \frac{x}{x' + \overline{ab}}\pi;\quad \alpha' = \frac{x'}{x' + \overline{ab}}\pi.$$

Întrucît această funcție satisface condiția :

$$f(\alpha) = f(-\alpha),$$

rezultă că seria Fourier conține numai termeni în cosinus și termenul liber. Amplitudinea armonicii fundamentale a funcției (6) va fi :

$$B_{10\,max} = \frac{2}{\pi}\int_{\alpha'}^{\pi} B_{0\,max}[1 - \cos K(\alpha - \alpha)]\cos\alpha d\alpha, \tag{7}$$

deci expresia factorului k_B este :

$$k_B = \frac{B_{10\,max}}{B_{0\,max}} = \frac{2}{\pi}\int_{\alpha'}^{\pi}[1 - \cos K(\alpha - \alpha')]\cos\alpha d\alpha. \tag{8}$$

Rezolvînd integrala (8), în care s-a introdus :

$$x' = \frac{t_1 - a'_r}{2},\quad \overline{ab} = \frac{a'_r}{2} \text{ și } x' + \overline{ab} = \frac{t_1}{2},$$

se obține în final :

$$k_B = \frac{2}{\pi}\frac{t_1^2}{t_1^2 - (\sigma a_r)^2}\sin\pi\frac{t_1 - \sigma a_r}{t_1}. \tag{9}$$

Din relația (4) se observă că t.e.m. indusă în contur, la valori date pentru celelalte mărimi, este o funcție de lățimea întrefierului. Măsurînd valoarea acestei t.e.m. se poate obține valoarea lățimii întrefierului, rotorul fiind în mișcare de rotație.

Realizarea unui contur de tip 1—1′ (fig. 2) este dificilă tehnologic și poate introduce, totodată, erori importante. Utilizînd însă diferența de potențial dintre extremitățile unei laturi active a conturului, pot fi eliminate inconvenientele determinate atît de asigurarea lățimii suprafeței conturului, cît și de realizarea acestuia.

Pentru aceasta este suficient să fie dispus un conductor la suprafața piesei polare, paralel cu axa polului, care să aibă extremitățile accesibile, conductor ce se consideră ca fiind una din laturile unui contur de tip 1—1′ (2 fig. 2). Armonica fundamentală a tensiunii electromotoare obținută la extremitățile sale va fi dată de relația :

$$U_{e1} = \frac{\sqrt{2}}{4}\mu_0\frac{Z_r n}{60}\frac{\varepsilon}{\sigma}k_B l_p U_{m\delta}\frac{\gamma}{k_C}. \tag{10}$$

Deci, principiul metodei constă în stabilirea amplitudinii armonicii de dantură a inducției magnetice din întrefier, ca mărime dependentă de valoarea lățimii întrefierului și adoptarea unui contur astfel realizat, în care armonica de dantură a inducției magnetice determină o t.e.m. a cărei valoare nu depinde de forma și mărimea suprafeței conturului, ci numai de mărimea laturii sale active, iar prin inducția magnetică de valoarea lățimii întrefierului. Nu s-a luat în considerație efectul curenților de suprafață.

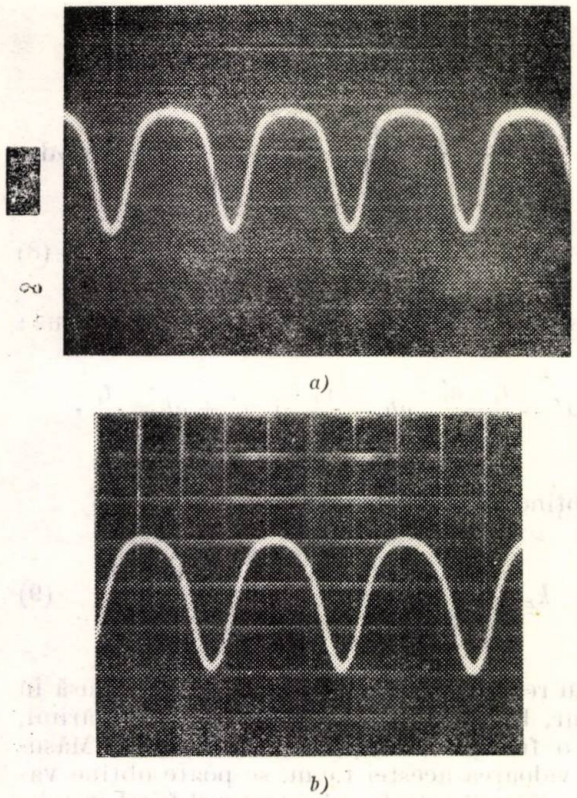


Fig. 3. T.e.m. indusă în spira-sondă cu latura activă amplasată în axa longitudinală a polului, la mașina studiată: a — pol principal; b — pol auxiliar.

2. Determinarea asimetriei întrefierului polilor principali

2.1. La funcționarea în gol ca generator

Se consideră regimul de funcționare în gol ca generator. Rotorul se antrenează la o turație constantă, iar în înfășurarea polilor principali se stabilește o valoare a curentului continuu astfel încît circuitul magnetic principal să fie parcurs de flux magnetic corespunzător unui punct de funcționare de pe porțiunea liniară a caracteristicii de magnetizare. În această situație, considerînd tensiunea magnetică nulă pe porțiunea feromagnetică a circuitului principal, rezultă:

$$U_m = F_e = 2w_e i_{e0},$$

unde:

w_e este numărul de spire ale unei bobine de pe un pol principal, parcurse de curentul i_{e0};

i_{e0} — valoarea curentului de excitație la care se efectuează determinarea.

Ținînd seama de (10) se obține pentru t.e.m. expresia:

$$U_{e1} = \frac{\sqrt{2}}{2} \mu_0 \frac{Z_r n}{60} l_p w_e i_{e0} \frac{\varepsilon}{\sigma} k_B \frac{\gamma}{k_C}, \quad (11)$$

relație în care toate mărimile sînt cunoscute.

În ceea ce privește repartiția spațială a inducției cîmpului magnetic de-a lungul pasului polar, aceasta este determinată, la curent de excitație constant, numai de variația întrefierului, cîmpul de reacție al rotorului fiind nul în acest regim.

Montînd cîteva contururi cu latura activă în întrefier, unul cu latura activă în axa longitudinală a polului iar celelalte cu latura activă la distanță dată față de cea din axa longitudinală, și măsurînd tensiunea indusă în contururile respective se obține o imagine a variației lățimii întrefierului sub polul considerat.

Dacă sub toți polii principali se montează, în condiții identice, contururi se poate analiza variația întrefierului între polii situați diametral geometric sau electric.

Această analiză poate fi făcută atît calitativ, comparînd t.e.m indusă în perechile de contururi cu laturile active situate în condiții identice în raport cu axa longitudinală a polilor, sau cantitativ, cum se indică mai jos.

Pentru aceasta sînt posibile trei etape.

— În faza de proiectare, dimensiunile și caracteristicile mașinii fiind cunoscute, se cal-

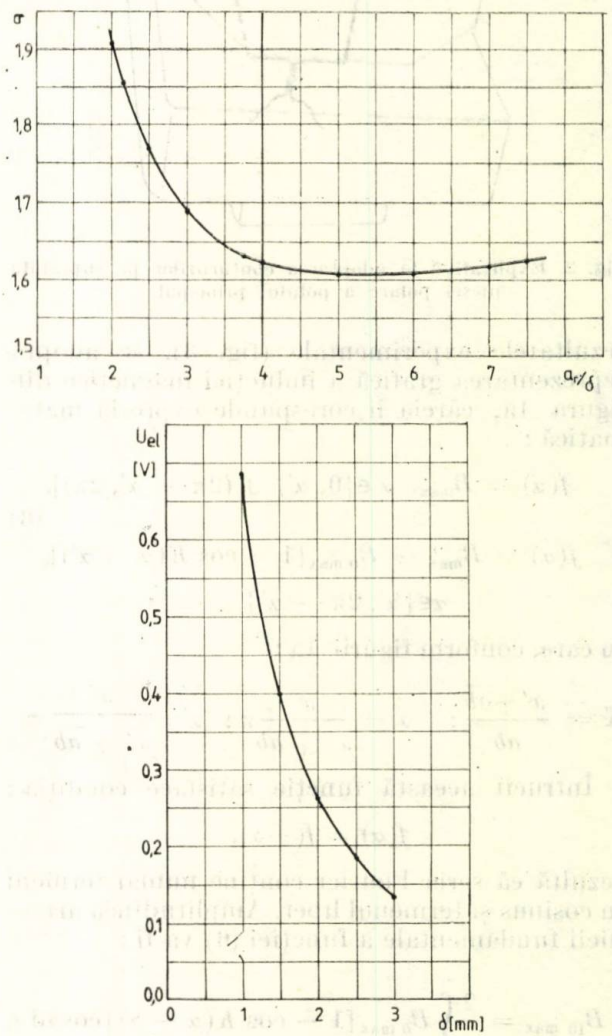


Fig. 4. a — Reprezentarea grafică a funcției $\sigma = f(a_r/\delta)$; b — reprezentarea grafică a funcției $U_{e1} = f(\delta)$.

culează t.e.m. U_{e1} conform relației (11) în care se adoptă $i_{e0} = 0{,}5\ i_{e0N}$, considerînd că pentru această valoare a solenației circuitul magnetic principal este nesaturat. Calculele se efectuează pentru mai multe valori ale lățimii întrefierului δ, de o parte și de alta ale valorii sale nominale, și se reprezintă grafic funcția $U_{e1} = f(\delta)$ (fig. 4 b).

— În faza de montaj, se amplasează contururile stabilite, respectînd dispunerea laturilor active ale contururilor de referință în axa longitudinală a polilor, axialitatea lor, precum și montarea laturilor active la nivelul suprafeței piesei polare. În cazul amplasării mai multor contururi pe același pol trebuie respectat paralelismul laturilor active cu axa longitudinală a polilor.

Contururile se amplasează înaintea introducerii rotorului în carcasă. Avînd în vedere valoarea relativ importantă a întrefierului la mașinile de curent continuu, precum și posibilitățile comode de protejare a laturilor active (cu paste adezive etc.), pericolul distrugerii lor este redus.

— În faza de încercări se măsoară, în regimul menționat, t.e.m. indusă în contururile montate, pentru valoarea luată în calcul a curentului de excitație. De pe curba $U_{e1} = f(\delta)$ se determină, la valoarea măsurată a t.e.m., valoarea corespunzătoare a întrefierului.

2.2. La funcționarea în sarcină

La funcționarea în sarcină acționează atît forțele de natură mecanică, cît și cele de natură electromagnetică, deci întrefierul poate fi modificat comparativ cu regimul de funcționare în gol.

Așa cum este cunoscut, cînd mașina de curent continuu funcționează în sarcină, inducția din întrefier este determinată de solenația inductoare și de reacție, precum și de reluctanța circuitului magnetic. În zona pasului polar a circuitului magnetic principal, în care cele două solenații se adună, porțiunea feromagnetică a circuitului se saturează. Ca urmare, t.e.m. indusă în contururile din această zonă este influențată nu numai de valoarea lățimii întrefierului, ci și de gradul de saturație a circuitului magnetic, aspect care este greu de luat în considerație.

În zona pasului polar în care solenațiile celor două cîmpuri se scad, circuitul magnetic poate fi considerat nesaturat. Cunoscînd repartiția spațială a solenației de reacție și a solenației inductoare, se determină grafic solenația rezultantă de-a lungul porțiunii considerate a arcului polar. Pentru zona arcului polar, pentru care solenația rezultantă este mai mică decît solenația de magnetizare corespunzătoare porțiunii liniare a caracteristicii de funcționare în gol, rezultă că toată tensiunea magnetică este repartizată pe întrefier. Introducînd în relația (10) valoarea solenației rezultante, corespunzătoare contururilor din zona nesaturată a arcului polar, se poate determina valoarea întrefierului, în sarcină, în zona respectivă a polilor principali.

O analiză calitativă a întrefierului, în axele longitudinale ale polilor principali, poate fi făcută la funcționarea în sarcină a mașinii de curent continuu.

Se știe că, în acest regim, cîmpul de reacție are valoarea nulă în axa longitudinală a polilor principali. Ca urmare însă a fenomenului de reacție, axele cîmpului magnetic rezultant se deplasează în raport cu cele geometrice într-un sens determinat de regimul de funcționare a mașinii. Cu toată complexitatea fenomenului se poate aprecia că gradul de saturație a polilor principali, în zona axei longitudinale geometrice nu se modifică de la un pol la altul, cu valori importante, la trecerea de la funcționarea în gol la funcționarea în sarcină. Ca atare, se poate considera că diferența dintre valorile t.e.m., induse în contururile cu laturile active dispuse în axele longitudinale geometrice ale polilor principali, sînt determinate practic numai de variația lățimii întrefierului. Analizînd valorile acestor t.e.m. pot fi obținute concluzii suficient de obiective asupra întrefierului din zonele respective la funcționarea în sarcină a mașinii.

3. Determinarea asimetriei întrefierului polilor auxiliari

Folosind același principiu (pct. 1) se poate pune în evidență variația întrefierului și sub polii auxiliari. În acest scop, latura activă a conturului se fixează pe suprafața dinspre întrefier a polului auxiliar, pe generatoarea din axa sa longitudinală. Rotorul este antrenat la turația de regim, periile sînt scoase din casete, iar înfășurarea polilor auxiliari este parcursă de curent continuu fiind alimentată de la o sursă separată. Valoarea curentului continuu se adoptă astfel încît circuitul magnetic al polilor auxiliari să fie nesaturat. Se realizează astfel un regim de funcționare în gol ca generator în care numai polii auxiliari creează cîmp magnetic.

Repartiția spațială a inducției cîmpului magnetic, creat de solenația polilor auxiliari, va fi modulată în amplitudine datorită prezenței crestăturilor rotorului. Variația în amplitudine a inducției va determina în conturul considerat o t.e.m., a cărei valoare este conformă cu (10). Se măsoară t.e.m. indusă în aceste conturi și din valorile obținute se poate aprecia variația întrefierului polilor auxiliari.

Reglînd întrefierul, în acest regim, la o valoare dată, egală pentru toți polii auxiliari, se poate apoi ridica, mult mai operativ și exact, curba limită de comutație, întrucît diferențele dintre valorile întrefierului polilor auxiliari sînt eliminate. Se obține astfel, sub fiecare pol auxiliar, valoare identică pentru inducția cîmpului de comutație.

4. Rezultate experimentale

Cercetările experimentale au fost efectuate pe o mașină de curent continuu cu excitație separată, cu poli de comutație, fără înfășurare

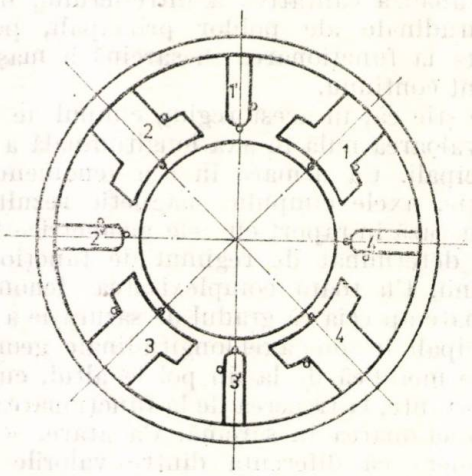


Fig. 5. Secțiune transversală prin mașina de curent continuu studiată ($a_r = 7{,}5$ mm; $t_1 = 21{,}27$ mm; $l_p = 160$ mm; $Z_r = 31$; $n = 1\,500$ rot/min; $w_e = 220$ sp.; $i_{e0} = 5$A).

de compensație, avînd parametrii $U = 110$ V; $I = 100$ A; $p = 2$; $i_{e0N} = 9$ A.

Se consideră o secțiune transversală prin mașină, privită din partea tracțiunii (fig. 5), în care este indicată numerotarea polilor principali și auxiliari. Cu datele constructive ale mașinii (tab. 1), utilizînd relația (11), s-a calculat caracteristica $U_{e1} = f(\delta)$ (fig. 4).

Pe polii principali s-au montat spire-sondă avînd laturile active pe suprafața piesei polare în axa lor longitudinală. Mașina a funcționat în regim de generator în gol, antrenată sincron la $n = 1\,500$ rot/min și excitată la $i_{e0} = 9$ A ($0{,}55\, i_{e0N}$), realizînd astfel o funcționare cu circuitul magnetic principal nesaturat. Periile au fost izolate de colector.

Tabelul 1

δ	T. e.m. calculată	Polul principal	T. e.m. măsurată	δ determinat din curba $U_{e1} = f(\delta)$
mm	V	nr	V	mm
1,0	0,685	1	0,173	2,65
1,5	0,398	2	0,177	2,60
2,0	0,260	3	0,186	2,50
2,5	0,184	4	0,223	2,225
3,0	0,135	—	—	—

Cu ajutorul osciloscopului a fost pusă în evidență forma de variație în timp a t.e.m. indusă în spirele-sondă de pe polii principali (fig. 3).

S-au măsurat t.e.m. induse în contururile considerate, iar din figura 4 b s-a determinat valoarea întrefierului corespunzătoare acestor t.e.m. (tab. 1).

Pentru comparare, întrefierul din axa longitudinală a polilor principali a fost determinat și ca diferență dintre diametrele interioare ale polilor și diametrul rotorului găsindu-se o valoare medie $\delta = 2{,}6$ mm, apropiată de cea determinată prin metoda propusă.

Analiza datelor din tabelul 1 indică, de asemenea, un întrefier mai mic sub polii principali dispuși în partea inferioară a mașinii, aspect menționat în literatura de specialitate.

5. Concluzii

1. Metoda propusă permite determinarea valorii medii a întrefierului de-a lungul generatoarei.

2. Dacă latura activă a spirei-sondă se ia mai mică, de exemplu 0,25 l_p, se obțin informații pe zone din lungimea generatoarei polului respectiv.

3. Amplasarea spirelor-sondă poate fi comod realizată, impunîndu-se ca necesară, cel puțin la încercarea prototipului.

4. Valoarea întrefierului, determinată prin metoda diferențelor diametrelor, confirmă faptul că metoda propusă este corectă.

5. Cu ajutorul spirelor-sondă, montate conform metodei propuse, pot fi determinate și alte mărimi ca: a'_r/a_r, $B_{0\max}/B_{\max}$ și altele.

Bibliografie

[1] *Nicloaide, A.* Mașini electrice. Teorie. Proiectare, **vol. I, II**, Craiova, Editura Scrisul românesc, 1975.
[2] *Richter, Rudolf.* Mașini electrice, **vol. I**, București, Editura Tehnică, 1958.
[3] *Nicolaide, A.* Bazele fizice ale electrotehnicii, **vol. I**, Craiova, Editura Scrisul românesc, 1983.
[4] *Drăgănescu, O.* Mașini electrice. Curs pentru subingineri, învățămînt seral, **vol. I**, Craiova, Reprografia Universității, 1980.
[5] *Gheorghiu, I. S., Fransua, Al.* Tratat de mașini electrice, **vol. I**, București, Editura Academiei R.S.R., 1972.
[6] *Dordea, T.* Mașini electrice, București, Editura didactică și pedagogică, 1977.
[7] *Bălă, C.* Mașini electrice, București, Editura didactică și pedagogică, 1980.
[8] *Cîmpeanu, A.* Mașini electrice. Craiova, Editura Scrisul românesc, 1978.

CZ 621.359.4 : 621.318.7 : 537.2

AEROSOLI
FILTRARE
ELECTROSTATICĂ

Electrofiltru pentru încăperi industriale EF 1500—P 2

BOTEZ DAN-DARIE* — BUCUREŞTI

Introducere

Deplasarea centrului de greutate al industriei noastre spre tehnologii de vîrf, impune desfăşurarea multor procese industriale în condiţiile unei atmosfere de înaltă puritate.

Electrofiltrul pentru încăperi industriale EF 1 500—P 2 vine să satisfacă noile cerinţe pe o treaptă calitativ superioară, alături de filtrele cu medii poroase pe care industria noastră le produce deja.

Utilizarea forţelor coulombiene la separarea particulelor în suspensie în gaze a luat amploare mai ales după dezvoltările lui Cottrel de la începutul secolului XX, contribuţii importante în domeniu aducîndu-şi W. A. Schmidt, H. J. White şi G. W. Penny.

În ciuda imperfecţiunilor inerente începutului aceste instalaţii s-au impus, perfecţionîndu-se în ultimile decenii, în special datorită utilizării diodelor semiconductoare în redresoarele de înaltă tensiune.

Un factor determinant în implementarea electrofiltrelor îl constituie presiunile sociale şi reacţia publică, inclusiv cea oficială, împotriva efectelor dăunătoare ale poluării atmosferei.

1. Aspecte ale poluării aerului cu particule în suspensie

Aerosolii, alături de poluanţii gazoşi SO_2, H_2S şi NH_3, reprezintă unul din principalii factori ai poluării aerului atmosferic.

Impurificarea aerului prin surse naturale (erupţii vulcanice, erodarea eoliană a solului, praf cosmic-meteoritic, materie organică viabilă sau moartă etc.) are o pondere redusă faţă de impurificarea prin surse artificiale (procese de combustie, procese tehnologice ce evacuează accidental sau necontrolat fracţiuni din materia primă, intermediară sau cea finită etc.), deoarece impurităţile evacuate de acestea au un rol deosebit în existenţa societăţii, ca factori etiologici ai morbidităţii populaţiei din centrele intens populate şi ca origine a multor consecinţe economico-sociale nefavorabile [1].

În mod curent se consideră aerosoli sau particule, materia dispersată solidă sau lichidă în care dispersoizii sînt mai mari decît moleculele (0,0006 μm), dar mai mici de 20 μm.

Particulele mai mici sînt încărcate electric şi au o mare mobilitate, ceea ce conduce la atasarea lor la alte particule.

Particulele mai mari au o viaţă mai scurtă datorită masei lor mari şi implicit a vitezei mari de sedimentare.

Tabelul 1

Raza particulelor şi forţa gravitaţională

Raza particulei, μm	Forţa gravitaţională, dyne
0,01	$5{,}13 \cdot 10^{-16}$
0,10	$5{,}13 \cdot 10^{-13}$
0,50	$6{,}41 \cdot 10^{-11}$
1	$5{,}13 \cdot 10^{-10}$
5	$6{,}14 \cdot 10^{-8}$
10	$5{,}13 \cdot 10^{-7}$

Atît natura aerosolilor, cît şi granulometria lor este foarte diversă, aşa cum rezultă din tabelul 2.

Particulele cu diametre mai mari de 1 μm se sedimentează în atmosferă liniştită conform legii lui Stokes:

$$V = \frac{gd^2(\rho_1 - \rho_2)}{18\eta}, \qquad (1)$$

unde:

V este viteza de cădere, în cm/s; g — acceleraţia gravitaţiei, în cm/s²; d — diametrul particulei, în cm; ρ_1 şi ρ_2 sînt densităţile particulei şi respectiv a aerului, în g/cm³; η — viscozitatea aerului, în poise.

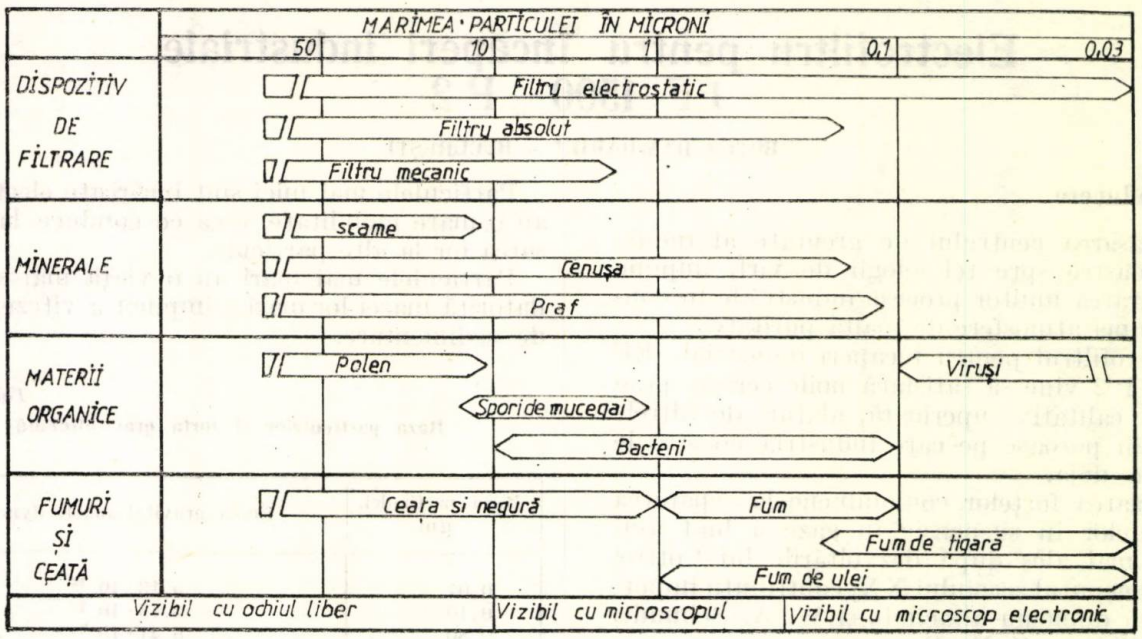
Expresia de mai sus este valabilă numai pentru sfere. În cazul particulelor nesferice se poate considera că acestea au un diametru fictiv, denumit „diametrul Stokes", egal cu acela al unei sfere de aceeaşi densitate, avînd aceeaşi viteză de cădere [2]. Limita inferioară de aplicabilitate se atinge cînd particulele devin atît de mici (în jurul a 1 μm), încît rezistenţa aerului nu mai este continuă, ci o rezultantă a ciocnirilor cu molecule de aer.

Cele două modele matematice, utilizate frecvent pentru a descrie distribuţia dimensională a aerosolilor, sînt: distribuţia logaritmic-normală şi distribuţiile logaritmice ale razei, suprafeţei sau greutăţii [3].

* Ing. *Botez, D.D.* — Institutul de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică (ICPE) — Bucureşti.

Tabelul 2

Natura şi gamele dimensionale ale aerosolilor, domenii de filtrare ale diferitelor tipuri de filtre (după Southern Air Conditioners)



La scară globală, în troposferă se pot distinge trei tipuri de distribuţii granulometrice : zgomotul de fond, distribuţia oceanică şi distribuţia continentală [4]. Cele trei distribuţii idealizate sînt prezentate în figura 1.

Zgomotul de fond este caracteristic pentru troposfera mijlocie şi superioară. El reprezintă o distribuţie neafectată de surse locale sau regionale de poluare şi corespunde unui număr limitat de aproximativ $700 \cdot 10^6$ particule pe m^3.

Distribuţia oceanică nu diferă esenţial de prima decît în domeniul 0,5 la 20 μm, unde există o suprapunere a aerosolilor produşi de valuri. Concentraţia este scăzută, mai puţin de $1\,000 \cdot 10^6$ particule pe m^3.

Distribuţia continentală este sensibil diferită din cauza efectelor poluării. Concentraţia totală creşte, variind între 10^9 particule pe m^3, în atmosfera rurală, pînă la $10^{10}-10^{11}$ particule pe m^3, în atmosfera oraşelor.

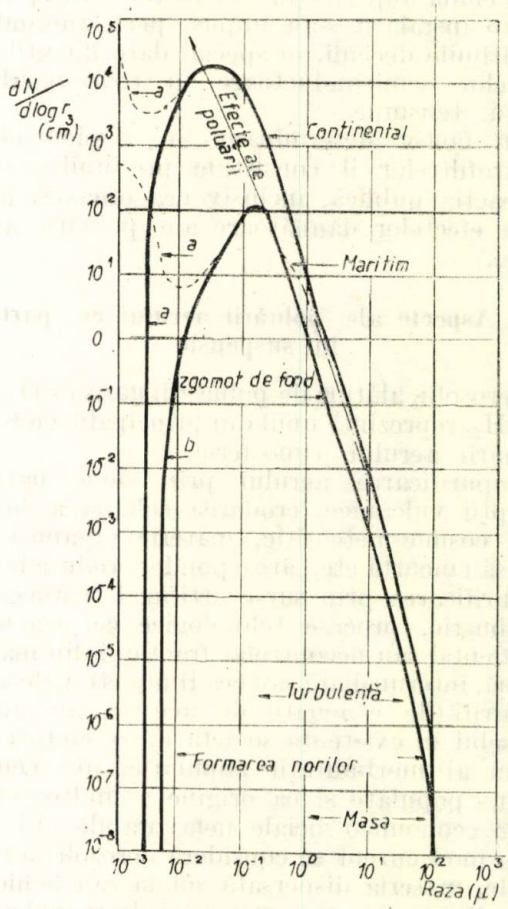


Fig. 1. Distribuţii idealizate ale aerosolilor în atmosferă : zgomot de fond, distribuţie oceanică, distribuţie continentală : a — cu producere de particule ; b — fără producere de particule.

2. Fundamentarea teoretică a dimensionării electrofiltrelor

2.1. Principiul de funcţionare

Tipul de electrofiltru adoptat pentru filtrarea aerului este cel cu două trepte, al cărui principiu de funcţionare este prezentat în figura 2. În treapta de ionizare, particula 1 este încărcată electric la traversarea unei zone ionizate, datorită descărcării electrice corona între firul corona *2* (alimentat la înaltă tensiune continuă, de polaritate pozitivă) şi electrozii *3* legaţi la pămînt. Colectarea particulelor încărcate *4* se face în treapta următoare : în momentul cînd particula ionizată este adusă de curentul de aer în cîmpul electric creat între plăcile de înaltă

tensiune 5, și cele colectoare 6 (puse la masă), ea se deplasează datorită forțelor coulombiene și se depune pe plăcile colectoare.

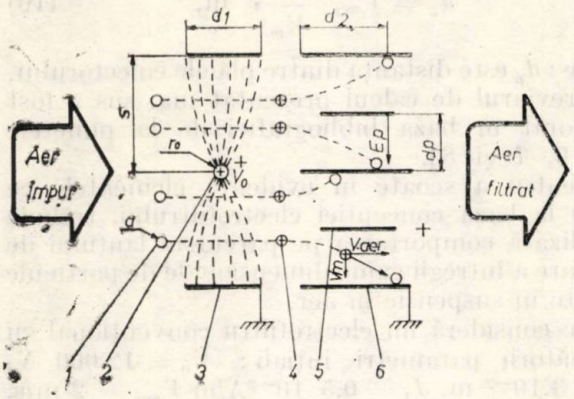


Fig. 2. Electrofiltrul cu două trepte — principiul de funcționare: 1 — particulă; 2 — fir corona; 3 — electrozi legați la pămînt; 4 — particulă încărcată; 5 — placă de înaltă tensiune; 6 — placă colectoare.

Se remarcă deosebirea față de electrofiltrele industriale, la care atît electrizarea, cît și colectarea particulelor au loc în cîmpul creat între electrozii corona și cei de depunere.

2.2. Descărcarea electrică corona

Baza mecanismului descărcării corona este ionizarea prin șoc de electroni. Fizic, electronii primari produși la stratul limită exterior al zonei active a descărcării sînt atrași spre firul corona și accelerați în cîmpul intens produc noi perechi de electroni-ioni. Electronii sînt colectați de firul corona, iar ionii pozitivi sînt atrași de pereții puși la masă, formînd o sarcină spațială pozitivă în zona pasivă a descărcării.

Condițiile generale de încărcare a particulelor sînt determinate de expunerea acestora în zona descărcării corona, unde interesează următorii parametri: intensitatea cîmpului electric, concentrația de ioni și timpul de expunere [5].

În cazul cel mai simplu al descărcării corona între un fir și un cilindru concentrația ρ_i de ioni este dată de relația:

$$\rho_i = \frac{i}{2\pi r\, bE}, \quad \text{C/m}^3. \tag{2}$$

Pentru geometria fir-placă concentrația de ioni se poate determina cu bună aproximație, aplicînd relația (3), utilizată în special la determinarea sarcinii spațiale la electrofiltrele de tip Cottrel [7]:

$$i = \frac{J_1 \ln \frac{4S}{r_0}}{2\pi b\, V_0}, \quad \text{C/m}^3, \tag{3}$$

unde:

J_1 este curentul pe unitatea de lungime a firului corona, în A/m;
r_0 — raza firului corona, în m;
b — mobilitatea ionilor, $2{,}2 \cdot 10^{-4}$ m²/v. s;
V_0 — potențialul firului corona, în V;
S — distanța între firul corona și placă, în m.

Raportînd sarcina spațială la sarcina electronului $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$C, se obține numărul de ioni pe unitatea de volum.

$$N_0 = \frac{\rho_i}{e}, \quad \text{ioni/m}^3. \tag{4}$$

2.3. Încărcarea particulelor

Datorită ciocnirilor cu moleculele gazului mișcarea ionilor, care urmează liniile de cîmp, prezintă mici neregularități a căror ordin de mărime este de 0,1 μm. Pentru particule cu raza $a > 1\,\mu$m neregularitățile traseelor ionilor sînt neglijabile și mecanismul încărcării se datorează mișcării orientate a ionilor către particule — încărcare prin bombardament ionic.

Încărcarea electrică a particulelor cu raza $a < 0{,}1\,\mu$m se face prin difuzie: ionii primesc energie cinetică de la molecule, ceea ce îi face să difuzeze în gaz, să se ciocnească cu diferitele particule solide sau lichide conținute și să adere la acestea datorită forțelor electrice de tip imagine, care intră în joc în momentul cînd ionii se apropie de particulă.

În cazul particulelor cu raza $0{,}1\,\mu\text{m} < a < 1\,\mu$m trebuie luate în considerație ambele mecanisme de încărcare.

Încărcarea particulelor prin bombardament ionic este dată de relația (5):

$$q = 4\pi\varepsilon_0 \left(1 + 2\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2}\right) \frac{E_0 a^2 t}{t + \tau}, \quad \text{C}, \tag{5}$$

unde: ε_0 este permitivitatea vidului; ε_r — permitivitatea relativă a particulei; E_0 — cîmpul electric, în V/m; a — raza particulei, în m; $t = \frac{V_{a^{\prime}r}}{d_1}$ — timpul cît particula se găsește în zona descărcării corona, în s; τ — constanta de timp a încărcării particulei, conform relației (6):

$$\tau = \frac{4\varepsilon_0}{N_0 e b}, \quad \text{S}, \tag{6}$$

în care toate simbolurile au semnificațiile date anterior.

Calculul sarcinii de încărcare prin difuzie, pentru particulele submicronice se poate efectua pe baza relației lui White:

$$q = \frac{4\pi\varepsilon_0 a\, k\, T_A}{e} \ln\left(\frac{aN_0 e^2 \overline{V}_i}{4\,\varepsilon_0 k\, T_A} t + 1\right), \quad \text{C}, \tag{7}$$

unde : k este constanta lui Boltzmann, $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/°K·mol ;
T_A — temperatura gazului, în grade K ;
V_i — viteza medie pătratică a ionilor, 510 m/s, iar celelalte mărimi au semnificaţiile şi valorile date anterior.

2.4. Traiectoria particulei în cîmpul de colectare

Viteza V_m de migrare a particulelor în cîmpul electric, creat între electrozii (plăcile) zonei de colectare, se poate calcula ţinînd seama de faptul că particulele sînt accelerate spre electrodul de depunere datorită forţelor de natură electrică, singurele forţe ce se opun acestora fiind cele datorate vîscozităţii.

Pentru particulele micronice viteza de migrare se poate calcula cu relaţia :

$$V_m = \frac{qE_p}{6\pi \eta a}, \quad \text{m/s}, \tag{8}$$

unde : q reprezintă sarcina cu care s-a încărcat particula, în C ;
E_p — intensitatea cîmpului electric de depunere, în V/m ;
a — raza particulei, în m ;
η — vîscozitatea dinamică a gazului, $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ d poise.

Pentru particulele submicronice la relaţia (8) trebuie aplicat factorul de corecţie al lui Cunnigham, care ţine seama de variaţia vitezei cauzată de reducerea coliziunilor cu moleculele gazului :

$$V_m = \frac{qE_p}{6\pi \eta a}\left[1 + \frac{\lambda}{a}\left(1{,}26 + 0{,}4\, e^{-1{,}1\frac{a}{\lambda}}\right)\right], \quad \text{m/s}, \tag{9}$$

în care λ este drumul liber mijlociu al moleculelor gazului, $6{,}8 \cdot 10^{-8}$m, pentru aer la 25°C, iar celelalte mărimi au semnificaţiile şi valorile date anterior.

Distanţa parcursă de particulă din momentul pătrunderii în cîmpul de colectare pînă în momentul depunerii (luînd în consideraţie cazul cel mai defavorabil, cînd particula intră în cîmp în imediata vecinătate a plăcii pozitive), poate fi calculată cu formula :

$$d_2 = V_{aer} \cdot \frac{d_p}{V_m}, \quad \text{m}, \tag{10}$$

unde : d_p este distanţa dintre plăcile colectorului.

Breviarul de calcul prezentat mai sus a fost elaborat în baza bibliografiei de la punctele [5, 6, 7 şi 8].

Pentru a scoate în evidenţă elementele ce stau la baza concepţiei electrofiltrului, trebuie analizată comportarea pe parcursul lanţului de filtrare a întregii game dimensionale de particule aflate în suspensie în aer.

Se consideră un electrofiltru convenţional cu următorii parametri iniţiali : $V_0 = 12\,000$ V, $s = 3 \cdot 10^{-2}$ m, $J_1 = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$A/m $V_{aer} = 2$ m/s, $V_p = 5\,000$ V, $d_p = 5 \cdot 10^{-3}$ m.

Se calculează conform paragrafelor 2.2 şi 2.3, 2.4, încărcarea şi spaţiul parcurs pînă la depunere, în cazul particulelor cu $\varepsilon_r = 2$ şi raza $a = 10$ μm, $a = 5$ μm, $a = 1$ μm, $a = 0{,}1$ μm, $a = 0{,}05$ μm, $a = 0{,}01$ μm. Avînd în vedere că, în conformitate cu rezultatele prezentate în tabelul 3 şi reprezentate grafic în figura 3, particulele submicronice (0,8—0,2 μm) au o viteză de migrare mai redusă şi, în consecinţă, traiectoria lor de depunere este mai lungă, precum şi faptul că timpul lor de ionizare (prin difuzie) este mai mare, rezultă necesitatea extinderii zonei de ionizare şi a celei de depunere.

Tabelul 3

Sarcina de încărcare, numărul de sarcini, viteza de migrare, timpul de migrare şi spaţiul de depunere funcţie de raza particulei

Raza particulei, μm	Sarcina de încărcare, C	Nr. de sarcini elementare	Viteza de migrare, m/s	Timp de migrare, s	Spaţiul de depunere, m
10	$6{,}8 \cdot 10^{-15}$	42 400	4	$1{,}25 \cdot 10^{-3}$	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$
5	$1{,}7 \cdot 10^{-15}$	10 600	1	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
1	$6{,}85 \cdot 10^{-17}$	430	$20 \cdot 10^{-2}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
0,1	$1{,}75 \cdot 10^{-18}$	11	$9{,}8 \cdot 10^{-2}$	$5{,}1 \cdot 10^{-2}$	$10{,}2 \cdot 10^{-2}$
0,05	$7{,}8 \cdot 10^{-19}$	5	$14 \cdot 10^{-2}$	$3{,}58 \cdot 10^{-2}$	$7{,}16 \cdot 10^{-2}$
0,01	$3{,}23 \cdot 10^{-19}$	2	0,83	$6{,}10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$

3. Caracteristicile tehnice şi constructive ale electrofiltrului pentru încăperi industriale EF 1 500 P 2

Caracteristicile tehnice ale electrofiltrului pentru încăperi industriale sînt :

— debitul nominal de aer filtrat :
$Q = 1\,500$ m³/h ;

— eficacitatea medie de reţinere a prafului atmosferic, conform NTR :
$E_m \geq 95\%$;
caracteristic $E_m \geq 98\%$;

— dimensiunea particulelor filtrate :
0,03—50 μm ;

— viteza de circulație a aerului prin interiorul electrofiltrului, 2,8 m/s ;
— căderea maximă de presiune pe elementele de filtrare, 2 mm C.A ;
— tensiunea de ionizare, 13 kV ;
— tensiunea maximă pe colector, 6,5 kV ;

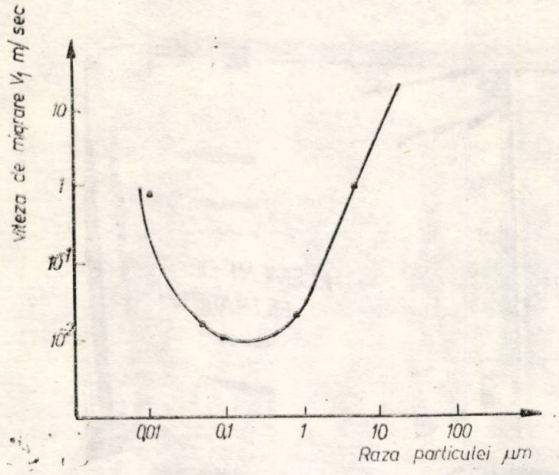


Fig. 3. Viteza teoretică de migrare a particulelor, funcție de rază, la electrofiltrul convențional considerat.

— numărul elementelor de filtrare 2, în serie ;
— tensiunea de alimentare 3×380 V,50 Hz ;
— puterea absorbită de la rețea 0,59 kW ;
— dimensiunile de gabarit 524×608× × 1410 mm ;
— greutatea 245 kg ;
— montaj, pe perete
— categoria de exploatare, normală ;
— regim nominal de lucru, continuu ;
— condiții de mediu :
temperatura +5C—+40°C ;
— umiditatea relativă a aerului 65%±20% ;
— altidudinea maximă 1 000 m ;
— încăperi închise, mediu neinflamabil, neexploziv, lipsit de agenți corozivi,
— emisia maximă de ozon 0,014 mg/m³ ;
— emisia maximă de NO_x 0,03 mg/m³.

Constructiv, aparatul este compus din următoarele blocuri :
— ionizatorul-colector (bloc de filtrare) ;
— bloc ventilație ;
— prefiltru ;
— redresor înaltă tensiune ;
— cutie de comandă ;
— bloc de alimentare.

Așa cum s-a arătat în capitolul 2, ionizatorul și colectorul, reprezintă elementul propriu-zis de filtrare și au rolul de a ioniza, respectiv de a colecta particulele în suspensie în aer.

Blocul de ventilație are rolul de a asigura circulația aerului în interiorul electrofiltrului și implicit recircularea aerului din încăpere.

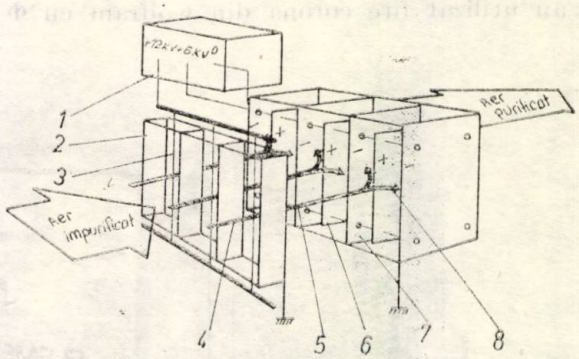


Fig. 4. Principiul constructiv și funcțional al unui bloc de filtrare : *1* — bloc redresor de înaltă tensiune ; *2* — contraelectrozi ; *3* — conductor corona ; *4* — particulă de praf ; *5* — particulă ionizată pozitiv ; *6* — plăci de cîmp ; *7* — plăci de masă ; *8* — traiectoria de depunere a particulei.

Prefiltrul este un filtru mecanic grosier, ce are rolul de a reține particulele cu dimensiunea mai mare de 1 mm.

Redresorul de înaltă tensiune, alimentat de la rețea prin intermediul unui transformator de înaltă tensiune, este de tip dublor, cu polaritate pozitivă, borna de tensiune simplă (+6,5 kV) conectîndu-se la plăcile de înaltă tensiune ale colectorului, iar borna de tensiune dublă (+13 kV) conectîndu-se la conductorul corona (fig. 4).

Pe cutia de comandă este montat aparatajul de comandă și semnalizare al electrofiltrului. Ea se instalează separat de electrofiltru într-un loc accesibil personalului și se conectează la aparat prin intermediul unui cablu multifilar și al unor conectori.

Blocul de alimentare asigură alimentarea și protecția la scurtcircuit a redresorului de înaltă tensiune și a motorului ventilatorului.

4. Emisia de ozon și oxizi de azot

Una din problemele importante, de care s-a ținut seama în proiectarea electrofiltrului, a fost limitarea generării ozonului.

Descărcarea electrică corona este însoțită de degajări de ozon și oxizi ai azotului. Întrucît energia necesară ionizării oxigenului este mai mică decît cea necesară pentru ionizarea azotului, producerea de ozon este preponderentă față de cea a oxizilor de azot și este luată în considerație în primul rînd.

Pentru ionizare s-a adoptat descărcarea corona pozitivă întrucît este bine stabilit faptul că în condiții similare de ionizare descărcarea corona pozitivă generează mai puțin ozon decît cea negativă.

Studii întreprinse de G. S. Peter Castle și Ion Inculeț [9] au stabilit că degajarea de ozon este cu atît mai redusă, cu cît diametrul firului corona este mai mic. În electrofiltrul realizat s-au utilizat fire corona din wolfram cu Φ = = 0,1 mm, ceea ce asigură o degajare minimă de ozon, concomitent cu o durată de serviciu acceptabilă.

Tot în vederea reducerii cantității de ozon generate s-a mărit viteza de circulație a aerului la 2,8 m/s, obținînd totodată o micșorare a gabaritului aparatului, față de varianta inițială, la care viteza aerului era de 1,5 m/s.

Avînd în vedere că descărcările electrice parazite (ce nu contribuie la desfășurarea procesului de filtrare), unipolare sau bipolare, generează ozon, s-a studiat și optimizat conformația cîmpurilor electrice, în scopul reducerii acestor descărcări.

Datorită măsurilor luate, emisia de ozon și de oxizi de azot este redusă mult față de concentrațiile maxim admisibile (CMA) prin normativele RSR, RFG, SUA. În tabelul 4 sînt prezentate valorile concentrațiilor de ozon și oxizi de azot determinate de către Institutul de cercetări științifice pentru protecția muncii, comparativ cu concentrațiile maxim admisibile.

Perceperea unui slab miros de ozon în timpul funcționării electrofiltrului nu trebuie să ne alarmeze, întrucît pragul de sensibilitate al simțului olfactiv la această substanță este de 0,003—0,010 p.p.m. (părți pe milion), față de CMA_{ozon} = 0,2 mg/m³ = 0,1 p.p.m.

În concluzie, se poate afirma cu toată certitudinea, că aparatul nu creează o atmosferă nocivă, că activitatea personalului în aceste condiții este lipsită de orice pericol, mai mult, datorită efectului bactericid al ozonului în incintă se crează o atmosferă igienică, reviguranță, cu miros de aer proaspăt de munte [10].

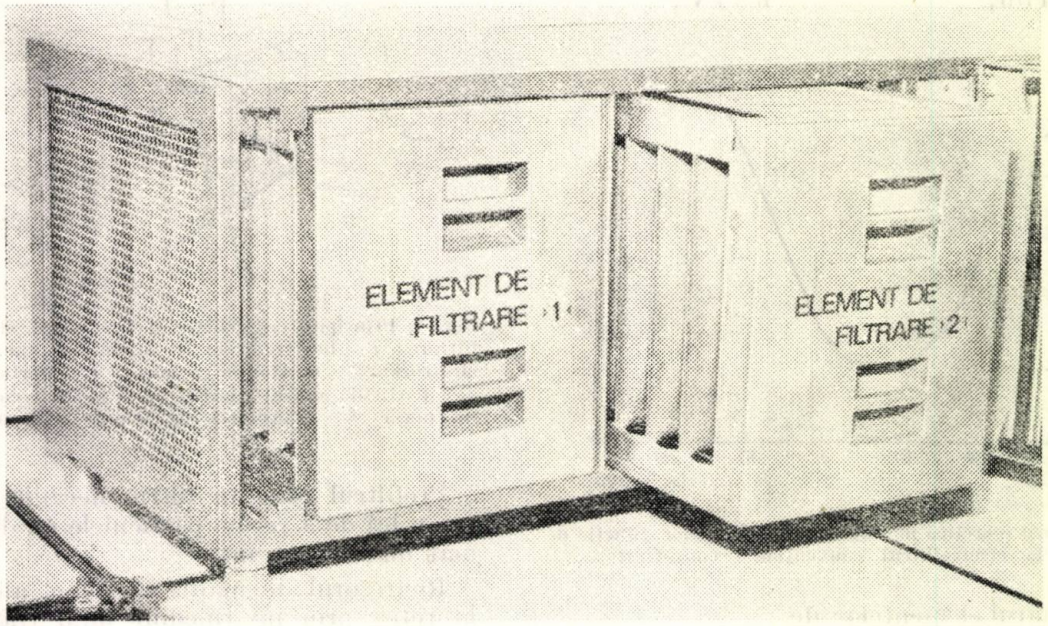


Fig. 5. Vedere a zonei de filtrare a electrofiltrului, cu ușa deschisă și elementul de filtrare 2 parțial extras.

Tabelul 4

Valori comparative ale concentrațiilor de ozon și oxizi de azot emise de către electrofiltrul EF 1500 P2 și concentrațiile maxim admisibile prin normative

	Concentrația într-o încăpere cu V=150 m	Concentrația în jetul de refulare, la d=0,2 m	CMA-RSR	CMA-RFG	CMA-SUA
Ozon, mg/m³	0,0125	0,014	0,2	0,2	0,1
Oxizi de azot, mg/m³	0,03	0,01	10	10	

5. Tehnici de determinare a concentrațiilor de aerosoli

În momentul de față există suficiente metode de determinare a concentrațiilor de particule în aer [11], particularitatea fiecăreia fiind impusă de parametrul fizic al particulei ce stă la baza metodei: greutate, volum, reflexia, difuzia sau emisia luminii etc.

5.1. Tehnici gravimetrice directe

Măsurarea concentrației pulberilor, exprimate ca unități de greutate pe unitatea de volum în aer, presupune reținerea pulberilor dintr-un

volum cunoscut de aer și cîntărirea lor. Metoda este limitată ca urmare a micii cantități de materie aflată în suspensie în aer, a sensibilității instrumentului de cîntărire, impunîndu-se corecții de higroscopicitate. În plus, metoda nu se pretează la determinări într-un interval scurt (variația temporală a concentrației), fiind folosită pentru determinări pe perioade mai lungi de timp (24 ore).

5.2. Tehnici gravimetrice indirecte

Aceste metode se bazează pe scăderea frecvenței naturale de oscilație a unui cuarț atunci cînd pe suprafața sa este adăugată o cantitate de materie m [12], conform relației (11):

$$f = 2{,}2 \cdot 10^{-6} \frac{f_0 m}{A}, \quad \text{Hz}, \qquad (11)$$

unde: f_0 este frecvența de oscilație a cuarțului;
A — suprafața cuarțului.

Depunerea particulelor pe suprafața cristalelor se poate face prin impact sau prin încărcarea electrică a acestora și colectare (un electrofiltru în miniatură). Metoda se pretează la sensibilizare, în afara cuarțului de lucru folosindu-se un cuarț martor aflat în condiții identice de mediu, compensînd efectele posibile ale modificărilor mediului ambiant.

Un aparat de acest tip a fost conceput și omologat în I.C.P.E. — București [13].

5.3. Tehnici fotometrice

La aspirarea aerului printr-o hîrtie de filtru particulele reținute vor forma o pată ce poate fi măsurată fotoelectric, comparîndu-se transmisia sau reflexia luminii prin comparație cu un filtru neexpus. Pe această metodă se bazează standardul american ASHRAE 52—76 și cel din R. F. Germania DIN 2485 pentru determinarea eficacității instalațiilor de filtrare a aerului.

Măsurătorile de reflexie, care apreciază înnegrirea produsă de stratul de particule, depind de coeficientul de reflexie caracteristic aerosolilor din zona în care se face determinarea.

În cazul ambelor metode determinările sînt influențate de grosimea stratului sau/și de numărul de straturi depuse.

5.4. Tehnici radiometrice

La trecerea unui fascicul de raze β prin materie, radiația incidentă este atenuată ca urmare a absorbției. Pentru radiații β cu energii mai mici de 1 MeV atenuarea este independentă de compoziția chimică și structura fizică a materiei și depinde numai de densitatea pe suprafață a materiei absorbante. Principial, un analizor automat de particule funcționează în trei cicluri: determinarea inițială a transmisiei radiațiilor β printr-o porțiune din filtru neexpus (filtrul are formă de bandă dispusă pe două role), urmată de translarea porțiunii respective, pe perioada de recoltare în dreptul capului de recoltare, apoi retranslarea și o nouă măsurare a transmisiei razelor β, absorbite suplimentar de către aerosolii recoltați.

O instalație pentru măsurarea automată a concentrațiilor poluanților atmosferici sub formă de pulberi, bazată pe acest principiu, a fost realizată la I.C.P.E.-București [14].

5.5. Metode bazate pe difuzia luminii

O proprietate optică importantă a particulelor este cea de difuzie a luminii. Luînd ca referință direcția și sensul radiației incidente, intensitatea radiației luminoase difuzate nu este aceeași în toate direcțiile, fiind maximă în zona frontală. Ca și în cazul proprietăților de mișcare particulele au proprietăți optice diferite funcție de dimensiunea lor, determinate în special de raportul dintre circumferința particulei și lungimea de undă a luminii, raport denumit parametrul α [15], definit de relația:

$$\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda}. \qquad (12)$$

În momentul de față metoda este bine pusă la punct, pe baza ei fiind realizate numeroase tipuri de aparate (16, 17].

Instalația pentru măsurarea eficacității electrofiltrului are la bază un numărător de aerosoli Royco model 245, bazat pe difuzia luminii de către particule.

Sistemul optic al senzorului (fig. 6) focalizează un fascicul bine definit de lumină pe un

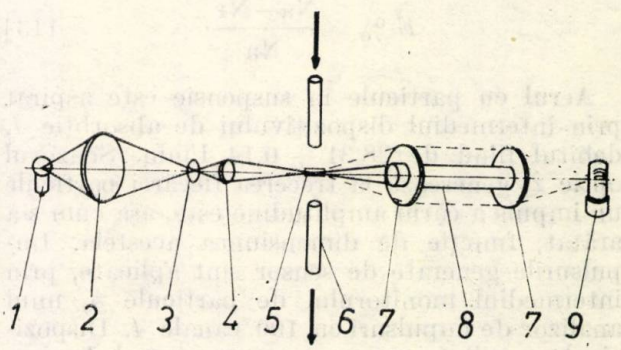


Fig. 6. Principiul de funcționare a detectorului numărătorului de aerosoli Royco model 245: *1* — bec; *2* — condensator; *3* — diafragmă; *4* — sistem optic de focalizare; *5* — volum senzitiv; *6* — conductă pentru aer; *7* — sistemul optic al lentilelor colectoare; *8* — capcană de lumină; *9* — fotomultiplicator.

„volum senzitiv" *5* (1 mm × 1 mm × 4 mm). Tot aerul absorbit cu ajutorul unei pompe cu un debit măsurat, trece prin acest „volum senzitiv". Dacă nu este prezentă în el nici o particulă, întregul fascicul va fi captat într-o capcană de lumină *8*, unde este absorbit. Dacă o particulă trece prin „volumul senzitiv" ea difu-

zează lumina într-un unghi larg, o parte din această lumină difuzată fiind focalizată de sistemul optic 7, pe fotocatodul fotomultiplicatorului 9, care generează un impuls a cărui amplitudine este o funcție a luminii primite, și, implicit, a dimensiunii particulei. Impulsurile sînt prelucrate, însumate și afișate. Aparatul dispune de un sistem de eliminare a erorilor de coincidență.

Cu ajutorul instalației prezentate în figura 7, se determină concentrația de particule atît la aspirația în electrolfiltru, cît și la refulare.

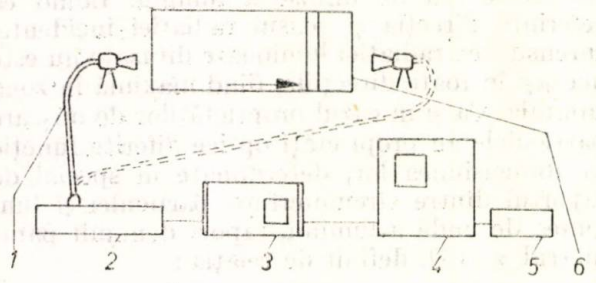


Fig. 7. Instalație pentru determinarea eficacității electrofiltrului pentru încăperi industriale EF 1 500-P 2 : *1* — dispozitiv de absorbție „Royco model 173" ; *2* — sensor „Royco model 242" ; *3* — monitor de particule „Royco model 245" ; *4* — analizator de impulsuri „Selector syst C.E.A. tip SA 40 INTERTECHNIQUE" ; *5* — bloc de afișaj „INTERTECHNIQUE tip RG 20" ; *6* — electrofiltru.

Instalația contorizează numărul de particule Na aflate într-un volum V_0 dat din aerul aspirat, precum și a celor aflate în același volum din aerul refulat de electrofiltru Nr.

Eficacitatea medie de reținere a prafului atmosferic E % se determină pe baza raportului :

$$E\ \% = \frac{\mathrm{Na} - \mathrm{Nr}}{\mathrm{Na}}. \qquad [13]$$

Aerul cu particule în suspensie este aspirat prin intermediul dispozitivului de absorbție *1*, debitul fiind de 28,31 ± 0,14 l/min. Senzorul optic *2*, generează la trecerea fiecărei particule un impuls a cărui amplitudine este, așa cum s-a arătat, funcție de dimensiunea acesteia. Impulsurile generate de sensor sînt aplicate, prin intermediul monitorului de particule *3*, unui analizor de impulsuri cu 100 canale *4*. Dispozitivele auxiliare, montate pe monitorul de particule sînt : înregistrator de particule cu bandă, pompă de absorbție a aerului, blocuri de alimentare. Borna de ieșire a monitorului de particule se conectează la intrarea analizorului de impulsuri, care are rolul de a analiza, memora și introduce în cele 100 de canale, impulsurile furnizate de monitorul de particule într-un interval de timp preselectat. Deci, volumul de aer V_0, al cărui număr de particule a fost determinat este dat de relația :

$$V_0\,(1) = t\,(\mathrm{min}).\ Q\ (28{,}3\ 1/\mathrm{min}) \qquad (14)$$

și rămîne neschimbat pe durata măsurătorilor.

Citirea numărului de impulsuri (particule) înmagazinate în fiecare canal se face cu ajutorul blocului de afișaj (5) interconectat.

Eficacitatea medie de reținere a prafului atmosferic se obține prin aplicarea relației (13), Na, respectiv Nr, rezultînd din însumarea numărului de particule conținute în cele 100 de canale ale blocului de afișaj. S-au efectuat mai multe determinări, valoarea Em % = 98,3%, obținîndu-se conform metodei de calcul a erorilor șirurilor de rezultate ale măsurătorilor repetate.

6. Elemente privind filtrarea aerului în încăperi curate (indoor)

Condițiile de cameră curată, conform standardului american nr. 209 B (1973), luîndu-se în considerație particulele cu dimensiunea ≥ 0,5 μm, sînt date în tabelul 5.

Tabelul 5

Densitățile de particule maxim admisibile pentru diferite clase de încăpere curată (particule cu dimensiunea ≥ 0,5μm)

Clasa	Numărul de particule pe picior cubic	Numărul de particule pe m³
100	100	3 500
1 000	1 000	35 000
10 000	10 000	350 000
100 000	100 000	3 500 000

Aparatul poate asigura puritatea aerului conform claselor de mai sus prin recircularea și filtrarea repetată a aerului din încăpere. Factorii de care trebuie să se țină seama în conceperea unui sistem de filtrare eficient sînt analizați în cele ce urmează. În atmosferă se află în suspensie particule, concentrația acestora (sînt luate în considerație numai particulele cu dimensinunea ≥ 0,5 μm) variind funcție de zonă conform tabelului 6 [18].

Tabelul 6

Densitatea particulelor în atmosferă (după T. Kawamata)

Zona	Densitatea particulelor (particule/ft³)	Densitatea particulelor (particule/m³)
Zonă curată	sub $5 \cdot 10^5$	sub $17{,}5 \cdot 10^6$
Zonă normală	$5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^6$	$17{,}5 \cdot 10^6 - 17{,}5 \cdot 10^7$
Zonă poluată	peste $5 \cdot 10^6$	peste $17{,}5 \cdot 10^7$

În figura 8 este prezentată variația sezonală a concentrațiilor particulelor în suspensie în aer, precum și raportul de penetrație interior/exterior, după un studiu efectuat la Hartford, Connecticut [19].

Un factor important ce trebuie luat în considerație este emisia de particule de către persoanele aflate în încăpere, care este cu atît mai mare cu cît activitatea depusă este mai intensă.

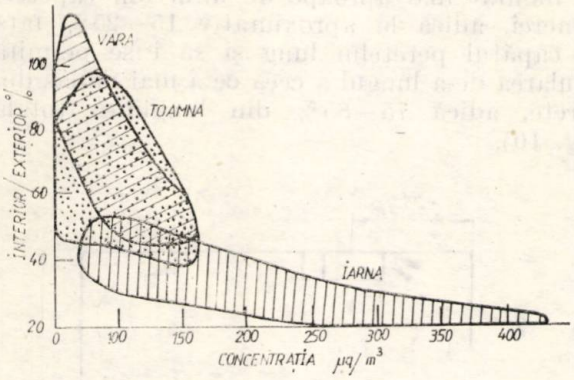


Fig. 8. Variația sezonală a concentrațiilor particulelor în suspensie și în aer și raportul de penetrație interior/exterior.

Tabelul 7

Numărul particulelor emise de o persoană (după T. Kawamata)

Activitatea	Numărul particulelor generate, particule/min. persoană
Ușoară	$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 1^6$
Normală	$1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^7$
Grea	$1 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^7$
Persoană în mișcare	$1 \cdot 10^7$

În cazul cînd sînt emise particule în cadrul proceselor tehnologice, volumul acestora trebuie luat în considerație la dimensionarea sistemului de filtrare.

Un alt factor de care trebuie să se țină seama este cantitatea de aer introdusă din exterior

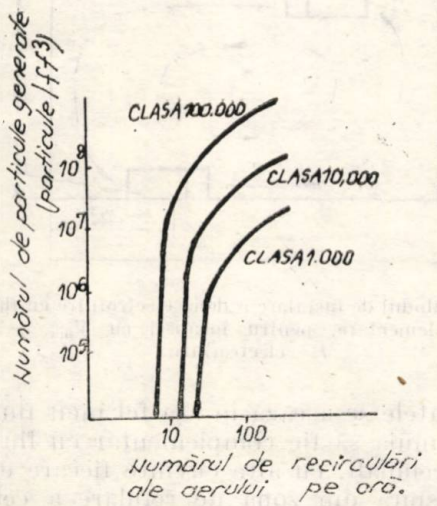


Fig. 9. Numărul de particule emise și frecvența de recirculare a aerului după T. Kawamata.

prin : instalații de ventilație, circulația persoanelor prin ușile de acces, neetanșeități etc.

Ținînd seama de cele de mai sus, T. Kawamata [18] recomandă graficul din figura 9 pentru determinarea numărului de recirculări (și filtrări) ale aerului dintr-o incintă, în scopul atingerii unei anumite clase de încăpere curată. Graficul a fost elaborat în următoarele condiții :

— densitatea particulelor din aerul atmosferic $M = 1.10^6$ particule/ft^3 (35.10^6 particule/m^3);

— eficacitatea medie a sistemului de filtrare $E_m = 99{,}97\%$;

— raportul între volumul aerului introdus de afară și volumul total al încăperii $S = 0{,}1$.

Funcție de variația condițiilor inițiale, se poate obține o familie de curbe ce definește numărul de filtrări pe oră ale aerului pentru obținerea unei anumite clase de puritate a aerului în încăpere.

7. Avantajele utilizării electrofiltrelor la filtrarea aerului în încăperi industriale

Factorii determinanți în impurificarea atmosferei interioare cu particule, așa cum s-a arătat în capitolul 6, sînt generarea de particule prin activitatea omului și impuritatea atmosferei exterioare. Luînd în considerație acest din urmă factor, s-au făcut determinări simultane ale concentrațiilor interioare și exterioare [20].

În general, probele exterioare au relevat un conținut relativ ridicat de particule mari, cînd concentrația particulelor în suspensie era mare. În schimb, probele interioare au prezentat un procentaj relativ mai mare al particulelor cu dimensiuni mici. Un studiu [21] a determinat la 0,36 μm diametrul mediu al particulelor în interior, comparat cu 0,46 μm pentru exterior.

În tabelul 8 este prezentată procentual repartiția numărului de particule funcție de dimensiunea lor, după American Air Filter. În ultima coloană, luîndu-se în considerație numărul mediu al particulelor cu dimensiunea peste 0,5 μm conținut într-un m^3 de aer dintr-o

Tabelul 8

Repartiția procentuală a numărului de particule funcție de dimensiune, într-un m³ de aer atmosferic dintr-o zonă normal poluată, (după American Air Filter).

Dimensiunea particulei	Numărul procentual de particule, %	Parte procentuală din volum, %	Număr de particule pe m³	
30—10	0,005	28	$5{,}45 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^7$
10—5	0,175	52	$1{,}9 \cdot 10^6$	
5—3	0,25	11	$2{,}72 \cdot 10^6$	
3—1	1,07	6	$1{,}16 \cdot 10^7$	
1—0,5	6,78	2	$7{,}39 \cdot 10^7$	
0,5—0	91,72	1	$100 \cdot 10^7$	

zonă normală (cca 9.10^7), s-a calculat numărul corespunzător de particule cu dimensiunea sub 0,5 μm (cca 100.10^7).

În cazul utilizării filtrelor cu medii poroase, a căror randament de filtrare pentru particulele submicronice este scăzut, se poate aștepta ca într-o incintă în care s-au realizat condiții de clasa 100 000 (densitatea particulelor cu dimensiunea peste 0,5 μm este de $3,5 .10^6$ part/m^3) să se găsească o cantitate apreciabilă de particule submicronice (cca. $1\,000 .10^6$ part/m^3), ce nu au fost reținute de către filtru.

În condiții similare, în cazul utilizării electrofiltrului, aparat ce reține particulele într-o mare plajă dimensională (tab. 2), practic între 50 μm și 0,02 μm, vor fi reținute în aceeași măsură și particulele submicronice, concentrația acestora fiind astfel redusă la circa $40 \cdot 10^6$ part/m^3.

Electrofiltrul nu necesită înlocuirea periodică a materialului filtrant îmbîcsit cu praf, îndepărtarea particulelor reținute pe plăcile din aluminiu ale elementului filtrant (colectorului), făcîndu-se prin spălare periodică cu apă sau apă cu dero.

De o importanță crescîndă în actuala conjunctură este și economia de energie electrică, ce se realizează prin utilizarea unor instalații de ventilație acționate de motoare de putere mai mică, întrucît căderea de presiune pe electrofiltru (circa 2 mm C.A) este mai mică decît cea pe filtrele cu medii poroase (10—20 mm C.A).

La electrofiltru, căderea de presiune practic nu variază, pe cînd la filtrele mecanice, pe măsură ce materialul poros se îmbîcsește, ca efect al micșorării interstițiilor dintre fibre, ea crește.

La performanțe similare, electrofiltrul are dimensiuni net inferioare unui filtru cu mediu poros.

Schema electrică este simplă, robustă și nu necesită cunoștințe speciale, fiind accesibilă unui electrician de calificare medie.

8. Modul de instalare, întreținere

Așa cum s-a mai arătat, electrofiltrul este conceput pentru instalarea pe un perete al încăperii, înălțimea de montaj 2,5—3 m alegîndu-se în așa fel încît curentul de aer creat să nu deranjeze personalul care își desfășoară activitatea în încăpere. În același scop aparatul dispune de două sisteme de jaluzele ce permit orientarea aerului refulat atît în plan orizontal cît și vertical.

Ventilatorul aparatului aspiră aerul impur și, după filtrare, îl refulează sub formă de jet, creînd astfel în partea superioară a încăperii o circulație a aerului sub formă de buclă. Acest sistem de filtrare, fără schimb de aer cu exteriorul, permite economisirea energiei termice ce ar fi fost utilizată la încălzirea aerului absorbit din exterior.

Deoarece ventilatorul refulează aerul la o distanță de 8—10 m, dar îl absoarbe numai de la 1,5—2 m, este necesar ca electrofiltrul să fie montat mai aproape de unul din capetele camerei, adică la aproximativ 15—25% față de capătul peretelui lung și să i se permită refularea de-a lungul a ceea ce a mai rămas din perete, adică 75—85% din lungimea totală (fig. 10).

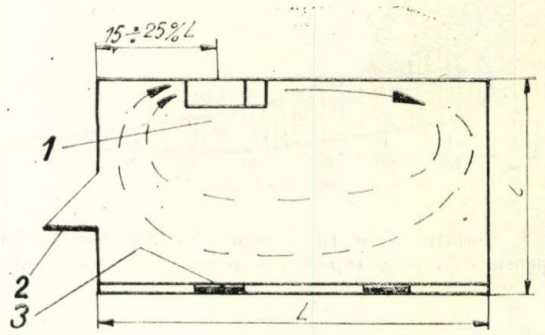


Fig. 10. Modul de instalare a electrofiltrului pentru purificarea aerului în încăperi cu volum $V_{max} = 350$ m^3: *1* — electrofiltru; *2* — ușă; *3* — fereastră.

În cazul dispunerii aparatului prea aproape de colțul încăperii, va apare un curent de aer care va bypasa aparatul și va menține circulația aerului poluat în exteriorul acestuia. Montajul aparatului cu partea de refulare prea aproape de colțul camerei va duce la ricoșarea aerului înapoi spre aparat și la limitarea circulației.

În figura 11 este prezentată cea mai bună dispunere a electrofiltrelor pentru a se obține sistemul optim de curgere a aerului.

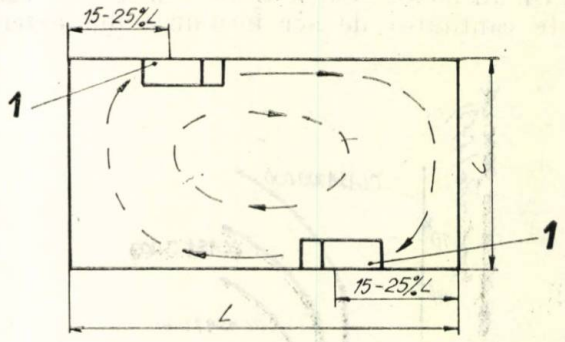


Fig. 11. Modul de instalare a două electrofiltre cu fluxuri de aer complementare, pentru încăperi cu $V_{max} = 700$ m^3: *1* — electrofiltru.

Aparatele se așează în așa fel încît fluxul de aer al unuia să fie complementar cu fluxul de aer al celuilalt, cu alte cuvinte fiecare electrofiltru aspiră din zona de refulare a celuilalt.

Se preferă instalarea electrofiltrului pe peretele opus ferestrelor (fig. 10), în caz contrar,

în timpul iernii, tirajul rece inversat al acestora va afecta sistemul curentului de aer al aparatului.

Operațiile de întreținere constau în curățirea ionizatorului și a colectorului la fiecare 7—10 zile. În acest scop se oprește electrofiltrul, după

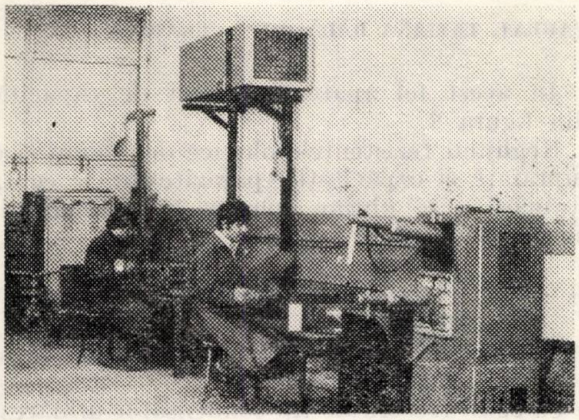


Fig. 12. Electrofiltrul EF 1 500 P 2 montat în atelierul de sudură al I.C.P.E.-București.

circa 10 minute se deschide ușa de vizitare și se scot ionizatoarele și colectoarele. Spălarea se face cu jet de apă sau apă cu dero, apoi subansamblele sînt lăsate să se usuce. Dacă această operație se efectuează sîmbăta, la terminarea programului (așa cum este recomandabil), timpul de uscare este pînă luni dimineață, cînd elementele de filtrare se introduc din nou în aparat, din acest moment electrofiltrul fiind gata de punere în funcțiune.

Se recomandă curățirea întregului electrofiltru o dată pe lună, operația efectuîndu-se cu deconectarea aparatului de la rețea.

Concluzii

Prototipul „Electrofiltrului pentru încăperi industriale EF 1 500 P 2" a fost elaborat pe baza unor cercetări proprii și omologat de către I.C.P.E.-București.

În vederea satisfacerii necesităților economiei naționale, aparatul este în fabricație la I.P.T.E. —Alexandria.

Principalii colaboratori ai producătorului sînt : Fabrica de aparataj „Electroputere"-Craiova, care asigură transformatorul de înaltă tensiune și I.C.P.E.-București, care asigură izolatoarele de înaltă tensiune.

Bibliografie

[1] *Barnea, M., Ursu, P.* Protecția atmosferei împotriva impurificării prin pulberi și gaze. București, Editura tehnică, 1969.

[2] *Arthur C.* Stern (Editor). Air Pollution. Academic Press, New York, 1976.

[3] *Morton Corn.* Aerosols and Primary Air Poluants. AIR POLLUTION, **vol.I** , Cap. 3, New York, 1976.

[4] *Madelaine, G., Renoux, A.* L'aerosol atmospherique, sa nature et sa mesure.

[5] *White, H. J.*, Desprăfuirea electrică industrială. Centrul de documentare și propagandă tehnică pentru materiale de construcții, București, 1972.

[6] *Tănăsescu, Fl. T., Cromariuc, R.* Electrostatica în tehnică, București, Editura tehnică, 1977.

[7] *Moore, A. D.* (Editor). Electrostatics and its Applications, New York, 1973.

[8] *Panthenier, M.* Lois de charge des particules spheriques conductrices dans un champ electrique bi-ionisé.

[9] *Peter Castle, G. S., Ion Inculeț.* Ozon generation in positive corona electrostatic precipitators. In : IEEE Transactions on Industry and General Applications, **vol. I** GA 5 No. 4, iuly/august 1969.

[10] *Arnold David, L. B.* Chemical oxidation of Odours by Ozon. Chemistry and Industry, 16 November, 1974.

[11] *Zimmer, Karl.* Metode de măsurare a concentrațiilor de aerosoli în aer. Studiu intern ICPE-București, 1977.

[12] *Raymond L. Chuan.* Application of an oscilating quartz crystal to measure the mass of suspended particulate matter. Analytical methods applied to air pollution measurements.

[13] *Mateescu, Nicolae.* Impactor în carcasă. Contract ICPE, 1982.

[14] *Radu, I.* Instalație pentru măsurarea automată a concentrațiilor poluanților atmosferici sub formă de pulberi. Contract ICPE-București, 1979.

[15] *Lundgren, D. A.* și *Cooper, D. W.* Efect of humidity on light scatering methods of measuring particle concentration. In : Journal of Air Pollution, 19, 1969.

[16] *Okada, T., Iton, K., Kitani, S.* Determination of the number of aerosol particles by light scattering method with an efficient device, In : Journal of Colloid and Interface Science, **vol. 42**, No. 1, January, 1973.

[17] — Royco model 245, 242, 173 manuale tehnice.

[18] *Kawamata, T.* More practical calculation method of particle density in clean rooms. 6-th International Symposium on Contamination Control, 1982.

[19] *Xocom, J. E., Coté, W. A., Clink, W. L.* Summary report of a study indoor/outdoor air pollution relationships to the national air pollution control administration. Contract No. CPA 22-69-14, **vol. I** and **II**. T.R.C. The Research Corporation of New England, Hartford, Connecticut, 1970.

[20] *John E. Yocom, William A. Coté, Ferris B.* Benson. Effects on indoor air quality. In : Air pollution, **vol II**, New York, 1977.

[21] *Shepard, R. I., Carey, G. C R., Phair, J. J.* Journal of Appl. Phisics. 15, 70—76, 1970.

[22] *Herdan, G.* Small particle statistics. Butterworths, London, 1960.

[23] *Loeb, L. B.* Electrical coronas. University of California Press-1965.

[24] *Cooperman, P.* A Theory for space-charge-limited currents with application to electrical precipitation. In : AIEE Comunication and Electronics, March, 1960.

[25] *Cooperman, P.* Dust space charge in electrical precipitation. In : IEEE Transactions on Communications and Electronics, July, 1963.

[26] *Penny, G. W., Smith, P. L.* The charging of nonspherical particles in a corona discharge. In : AIEE Communications and Electronics, Iuly, 1961.

[27] *Penny,. G. W., Klinger, E. H.* Contact potentials and the adhesion of dust. In : AIEE Comunications and Electronics, July, 1962.

[28] *Cheng, L., Soo., L. S.* Charging of dust particles by inpact In : Journal of Applied Physics, **vol. 41**, no. 2, February, 1970.

CZ 621.315.627

Calculul trecerilor izolante tip condesator

NICOLAE PĂDURARU, PETRE TUȘALIU, VASILE SCARLAT, TATIANA BĂLĂȘOIU* — CRAIOVA

Introducere

Fabricația de transformatoare de putere și măsură de înaltă tensiune nu poate fi concepută fără elementele de legătură a acestora cu exteriorul, respectiv trecerile izolante.

Firmele cu renume în acest domeniu (ASEA, Passoni-Villa, Delle, Felten-Guileaume, Haefely, Micafil) realizează, în general, treceri izolante tip condensator, pe bază de hîrtie-ulei, pentru tensiuni cuprinse între 20 și 400 kV.

Necesarul anual de astfel de treceri, în țara noastră la import (variind între 1 500—20 000 dolari/buc) au impus cu stringență necesitatea asimilării acestora cu forțe proprii.

În aceste condiții, colective de specialiști din cadrul CCSIT-Electroputere, ICEMENERG — București, Fabrica de aparataj și Facultatea de electrotehnică din Craiova, au abordat în ultimii ani problemele teoretice constructive și tehnologice ale acestor produse electrotehnice de vîrf, vizînd calculul trecerilor, confecționarea și încercarea lor.

1. Calculul trecerii izolante de tip condensator

Trecerea tip condensator, unilaterală, cu ecrane „scurte", în trepte, poate fi reprezentată schematic ca în figura 1.

În acest fel apare repartiția de capacități din figura 2.

Neglijînd rezistențele ohmice de volum și de suprafață și capacitățile parazite dintre ecrane și masă — se obține schema echivalentă din figura 3.

în care : Ceo, i ($i = \overline{1, n}$) sînt capacități echivalente din 0 la ecranul i;

Ui, $i-1$ ($i = \overline{1, n}$) tensiunile repartizate între ecrane.

Calculul trecerii de tip condensator urmărește stabilirea raporturilor optime între dimensiunile ecranelor (h, a, l, r) și numărul lor pentru a se obține o repartiție egală a tensiunii între ecrane :

$$U = U_{n,n-1} + U_{n-1,n-2} + \ldots + U_{i,i-1} + \\ + U_{2,1} + U_{1,0}. \quad (1)$$

Se urmărește deci ca între cele n ecrane să se obțină tensiuni egale :

$$U_{n,n-1} = U_{n-1,n-2} = U_{n-2,n-3} = \ldots = \\ = U_{i,i-1} = \ldots = U_{2,1} = U_{1,0}. \quad (2)$$

Se poate scrie :

$$I_{Cn} = \omega\, UC_{eo,n} = \omega C_n U_{n,n-1}. \quad (3)$$

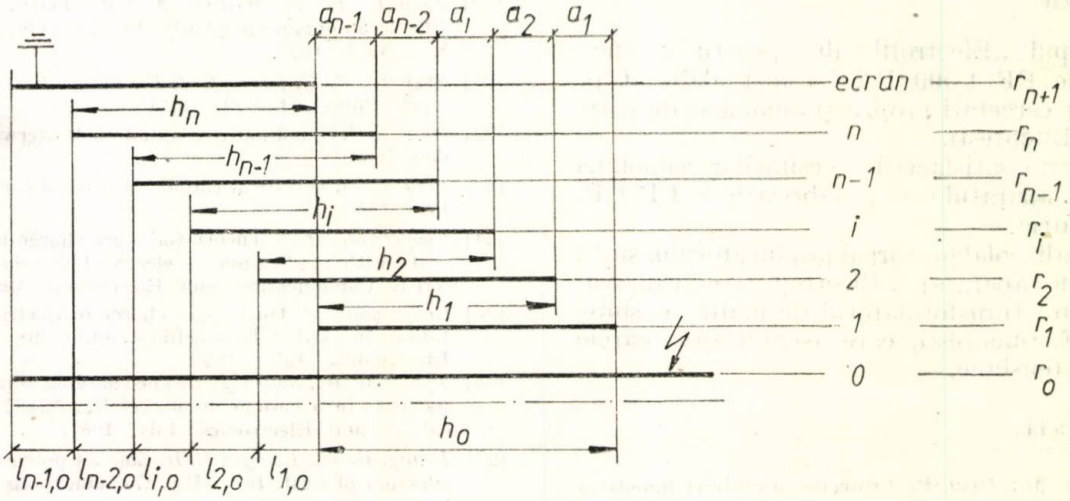


Fig. 1. Schema trecerii tip condensator.

Din relațiile (2), (3) se obțin :

$$U_{n,n-1} = U\,\frac{C_{eo,n}}{C_n}, \quad (4)$$

* Ing. *Păduraru, N.* — Centrul de cercet. șt. și inginerie tehnologică „Electroputere" — Craiova; ing. *Tușaliu, P.* — Universitatea — Craiova; ing. *Scarlat, V.* — Întrepr. „Electroputere" — Craiova; ing. *Bălășoiu, T.* — Intrepr. de utilaj greu — Craiova.

$$U_{n-1,\,n-2} = \frac{C_{eo,\,n-1}}{C_{n-1}}(U - U_{n,n-1}), \tag{5}$$

$$U_{i,\,i-1} = \frac{C_{eo,\,i}}{C_i}\left(U - \sum_{k=n}^{k=i} U_{k,\,k-1}\right), \tag{6}$$

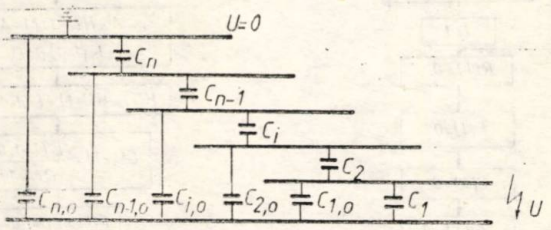


Fig. 2. Repartiția capacităților la trecerea tip condensator.

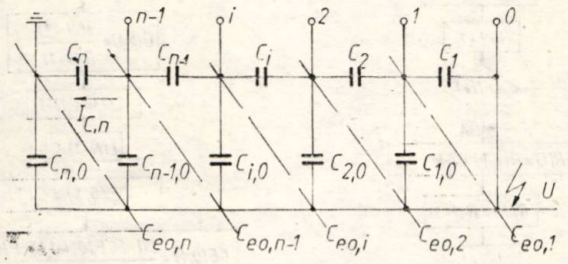


Fig. 3. Schema echivalentă a treccrii tip condensator.

$$U_{2,1} = \frac{C_{eo,2}}{C_2}\left(U - \sum_{k=n}^{k=2} U_{k,k-1}\right), \tag{7}$$

$$U_{1,0} = \frac{C_{eo,1}}{C_1}\left(U - \sum_{k=n}^{k=1} U_{k,\,k-1}\right). \tag{8}$$

Din relația (2) și relațiile (5) ÷ (8) rezultă :

$$\frac{U}{n} = \frac{C_{eo,\,n}}{C_n}U, \tag{9}$$

deci :

$$\begin{aligned} C_n &= nC_{eo,\,n},\\ C_{n-1} &= (n-1)\,C_{eo,n-1},\\ C_i &= iC_{eo,\,i},\\ C_2 &= 2C_{eo,\,2},\\ C_1 &= C_{eo,\,1}. \end{aligned} \tag{10}$$

Capacitățile echivalente $C_{eo,\,i}$ pot fi scrise, conform schemei echivalente, astfel :

$$\begin{aligned} C_{eo,\,1} &= C_1,\\ C_{eo,\,2} &= \frac{C_2(C_{eo,1} + C_{1,0})}{C_2 + C_{eo,\,1} + C_{1,0}},\\ C_{eo,\,i} &= \frac{C_i(C_{eo,\,i-1} + C_{i-1,0})}{C_i + C_{eo,i-1} + C_{i-1,0}},\\ C_{eo,\,n-1} &= \frac{C_{n-1}(C_{eo,n-2} + C_{n-2,0})}{C_{n-1} + C_{eo,n-2} + C_{n-2,0}},\\ C_{eo\,n} &= \frac{C_n(C_{eo,\,n-1} + C_{n-1,0})}{C_n + C_{eo,n-1} + C_{en-1,0}}. \end{aligned} \tag{11}$$

Astfel, relațiile (10) devin :

$$C_2 = 2C_{eo,\,2} = 2\,\frac{C_2(C_1 + C_{1,0})}{C_2 + C_1 + C_{1,0}},$$

$$C_2 + C_1 + C_{1,0} = 2C_1 + 2C_{1,0},$$

$$C_2 = C_1 + C_{1,0}, \tag{12}$$

$$C_3 = C_1 + C_{1,0} + 2C_{2,0}, \tag{13}$$

$$C_4 = C_1 + C_{1,0} + 2C_{2,0} + 3C_{3,0}, \tag{14}$$

$$C_n = C_1 + \sum_{i=1}^{i=n-1} iC_{i,0} \tag{15}$$

sau :

$$C_i = C_{i-1} + iC_{i,0}. \tag{16}$$

Relația (16) reprezintă legea de variație a capacităților dintre ecrane pentru a anula efectul capacităților parazite Cn, 0, astfel încît să se obțină diferențe de potențial egale între ecrane.

Se cunoaște relația de calcul a capacității condensatorului cilindric :

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon\,.\,l}{\ln\dfrac{r_n}{r_{n-1}}} = \frac{\varepsilon\,.\,l}{1{,}8\ln\dfrac{r_n}{r_{n-1}}}\ \text{pF}, \tag{17}$$

în care :

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi\,.\,9\,.\,10^9}\ \text{F/cm}$$ și l, în cm.

Pentru hîrtia impregnantă folosită la execuția acestor izolatoare $\varepsilon \simeq 1{,}7 \div 2{,}1$, deci :

$$C = \frac{l}{\ln\dfrac{r}{r_{n-1}}}\ \text{pF}. \tag{18}$$

Considerînd această relație de calcul se obține :

$$C_1 = \frac{h_1}{\ln\dfrac{r_1}{r_0}};\quad C_2 = \frac{h_2}{\ln\dfrac{r_2}{r_1}};\ \ldots\quad C_{n-1} = \frac{h_{n-1}}{\ln\dfrac{r_{n-1}}{r_{n-2}}};$$

$$C_n = \frac{h_n}{\ln\dfrac{r_n}{r_{n-1}}}, \tag{19}$$

$$C_{1,0} = \frac{l_{1,0}}{\ln\dfrac{r_1}{r_0}};\quad C_{2,0} = \frac{l_{2,0}}{\ln\dfrac{r_2}{r_1}};\ \ldots$$

$$C_{n-1,0} = \frac{l_{n-1,0}}{ln\dfrac{r_{n-1}}{r_{n-2}}}. \tag{20}$$

Din relaţiile : (13)÷(16) şi (19), (20) se obţine :

$$C_2 = C_1 + C_{1,0} = \frac{h_1 + l_{1,0}}{\ln \frac{r_1}{r_0}} = \frac{h_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{h_1 + l_{1,0} - a_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}},$$

$$\frac{h_1 + l_{1,0}}{\ln \frac{r_1}{r_0}} = \frac{h_1 + l_{1,0} - a_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}},$$

care, rezolvată în raport cu : $l_{1,0}$ conduce la :

$$l_{1,0} = \frac{a_1 - h_1 \left(1 - \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\ln \frac{r_1}{r_0}} \right)}{1 - \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\ln \frac{r_1}{r_0}}},$$

$$C_3 = C_1 + C_{1,0} + 2C_{2,0} = C_2 + 2C_{2,0} = C_2 + 2 \frac{l_{2,0}}{\ln \frac{r_2}{r_0}} = \frac{h_3}{\ln \frac{r_3}{r_2}}, \qquad (21)$$

$$\frac{h_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} + 2 \frac{l_{2,0}}{\ln \frac{r_2}{r_0}} = \frac{h_2 + l_{2,0} - a_2}{\ln \frac{r_3}{r_2}},$$

care se rezolvă în raport : cu $l_{2,0}$:

$$l_{2,0} = \frac{a_2 - h_2 \left(1 - \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right)}{1 - 2 \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{\ln \frac{r_2}{r_0}}}. \qquad (22)$$

Analog se obţin relaţiile de rang i, $n-1$:

$$l_{i,o} = \frac{a_i - h_i \left(1 - \frac{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}{\ln \frac{r_i}{r_{i-1}}} \right)}{1 - i \frac{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}{\ln \frac{r_i}{r_0}}}, \qquad (23)$$

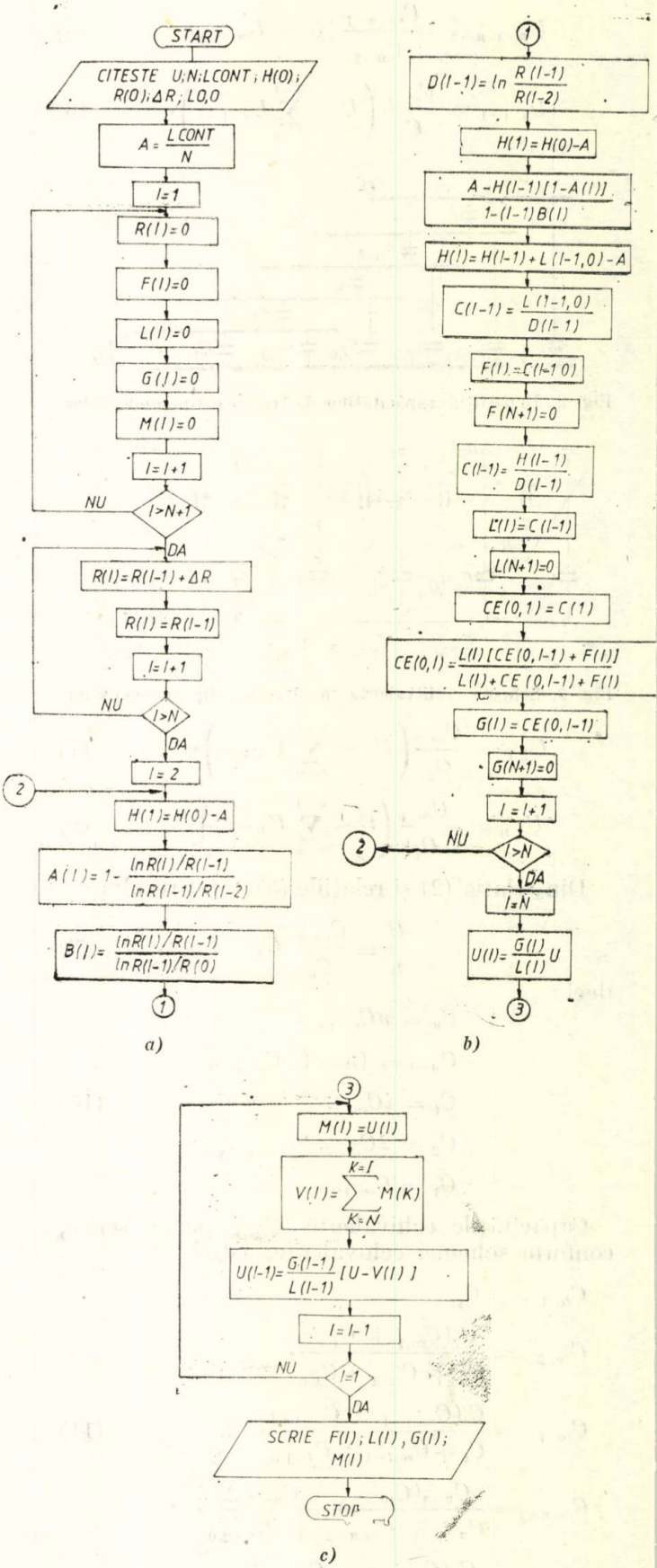


Fig. 4. Schema logică a programului de calcul al repartiţiei de tensiuni la trecerea izolantă.

$$l_{n-1,0} = \frac{a_{n-1} - h_{n-1}\left(1 - \frac{\ln \frac{r_n}{r_{n-1}}}{\ln \frac{r_{n-1}}{r_{n-2}}}\right)}{1 - (n-1)\frac{\ln \frac{r_n}{r_{n-1}}}{\ln \frac{r_{n-1}}{r_0}}} \cdot \quad (24)$$

Din punct de vedere constructiv, la o trecere izolantă de tip condensator se adoptă :

a — numărul de ecrane (funcţie de tensiunea nominală şi tehnologia folosită) ;

b — lungimea pragurilor $a_1, a_2, \ldots, a_{n-1}$ astfel încît lungimea totală între primul şi ultimul ecran să ducă la o linie de conturnare corespunzătoare tensiunii de încercare şi mediului izolant în care lucrează trecerea ;

c — lungimea medie a ecranelor l_{med} ştiind că :

$$l_1 = h_1 + l_{1,0},$$

$$l_2 = h_2 + l_{2,0},$$

$$\ldots$$

$$l_{n-1} = h_{n-1} + l_{n-1,0};$$

d — dimensiunea radială a fiecărui ecran $r_0, r_1, \ldots, r_n$, sau legea de variaţie a razei astfel încît să rezulte pe cît posibil lungimi egale ale ecranelor $l_1 = l_2 = \ldots = l_{n-1}$ sau a treptelor $a_1 = a_2 = \ldots = a_{n-1} = a$.

2. Dimensionarea trecerii izolante de 20 kV, rezultate experimentale

Utilizînd relaţiile deduse anterior într-un program cu schemă logică din figura 4, se ajunge la următoarea dimensionare pentru trecerea izolantă de 20 kV pentru transformatoare de tensiune capacitive :

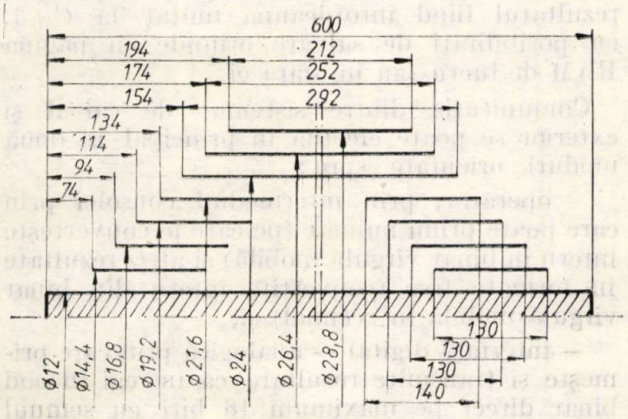


Fig. 5. Dimensiunile trecerii tip condensator pentru 20 kV.

Trecerea izolantă respectivă a fost încercată timp de 1 min cu o tensiune de 55 kVef şi frecvenţă industrială şi cu impuls de tensiune 125 kVmax ; 1,2/50 μs (undă plină).

Înainte* şi după** încercarea cu impuls negativ de tensiune, s-a măsurat nivelul descărcărilor parţiale şi factorul de pierderi tg δ, obţinîndu-se rezultatele din tabelul 1 :

Tabelul 1

Impulsul aplicat	Tensiunea aplicată, [kVef]	Trecerea	Capacitatea [pF]		tg δ, [%]	
			*	**	*	**
undă plină 1,2/50 μS 125 kV max negativ	24	1	87,96	89,4	0,24	0,245
		2	88,8	90,14	0,24	0,24
		3	87,56	87,68	0,23	0,27

În tabelul 2 sînt prezentate, comparativ, rezultatele obţinute la încercarea a trei tipuri de treceri izolante.

Tabelul 2

nr. crt.	Impulsul aplicat	Tensiunea aplicată, [kVef]	Fabrica	Trecerea	Sarcina aparentă a DP (pC)		Capacitatea, [pF]		tg δ, [%]	
					*	**	**	**	**	**
1	undă plină 1,2/50 μs 150 kVmax poz. neg.	45	IEPG	1	4500	55	91,01	89,99	0,37	0,27
				2	6000	7000	90,5	88,45	0,51	0,88
2			R.F.G.	1	90	36	65,76	65,21	0,67	0,64
				2	36	225 interm 900)	66,05	65,74	0,61	0,74
3			Anglia	1	216	250	127,63	127,07	1,02	1,02
				2	108	660	127,63	126,79	1,22	1,24

Concluzii

Lucrarea abordează o tematică de larg interes din domeniul construcţiei de aparataj electric de înaltă tensiune şi anume asimilarea trecerilor izolante, în scopul obţinerii unei importante economii valutare. În acelaşi timp, realizarea acestor aparate cu forţe proprii rezolvă şi tendinţa cerută şi justificată de creşterea tensiunilor nominale de transport şi utilizarea energiei electrice.

În cadrul lucrării sînt prezentate principalele aspecte teoretice referitoare la calculul trecerilor izolante de tip condensator, pe baza cărora s-a

realizat o metodică de proiectare cu un program de rulare pe calculatorul cifric.

Din analiza performanţelor obţinute rezultă că metoda de calcul propusă conduce la obţinerea unor rezultate suficient de exacte pentru nevoile practice. Performanţele obţinute şi prezentate în tabelele 1 şi 2 situează produsele asimilate printre cele mai bune aparate similare realizate pînă în prezent.

Pentru asimilarea trecerilor izolante de înaltă şi foarte înaltă tensiune se impune continuarea programului comun de cercetare-proiectare amintit în capitolul de introducere, cu pregătirea unor tehnologii adecvate de fabricaţie.

Bibliografie

[1] *Herşcovici, B.* Proiectarea şi construcţia aparatelor electrice. Craiova. Reprografia Universităţii, 1980.

[2] *Steinberg, C.* Teoria şi proiectarea aparatelor electrice. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.

[3] *Ifrim, A., Notingher, P.* Materiale electrotehnice. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1979.

[4] *Herşcovici, B.* ş.a. Aparate electrice de înaltă tensiune. Bucureşti, Editura tehnică, 1978.

[5] *Horváth, T., Máthé, B., Németh, E., Stanciu, V.* Încercarea izolaţiei electrice. Bucureşti, Editura tehnică, 1982.

[6] *Cristescu, D., Olah, R.* Supratensiuni şi izolaţia reţelelor electrice. Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1983.

[7] *Tusaliu, P., Bălăşoiu, T., Tuşaliu, V.,* Asupra determinării repartiţiei tensiunii înalte pe lanţuri de izolatoare de 750 kV. In : E.E.A.-Electrotehnica **32**, nr. 1, 1984.

[8] *Riscaldina, G., Villa, V.* Experimental investigation an the unit-test method for resting multichamber circuit-breakers. In : IEEE Transactions on lower Apparatus and Systems, **PAS—97**, nr. 4, 1978.

CZ 621.377.6 : 512

BIBLIOTECĂ MATEMATICĂ RAPIDĂ TREI OCTEŢI VIRGULĂ MOBILĂ MICROPROCESOARE DE 8 BIŢI

BIMAR—BIbliotecă MAtematică Rapidă pentru sisteme de calcul în timp real utilizînd microprocesoare de 8 biţi

VICTOR G. TATOIU * — BUCUREŞTI

Introducere

Datorită dezvoltării şi răspîndirii rapide a microprocesoarelor, asistăm astăzi la o pătrundere masivă a lor în sisteme de calcul în timp real destinate a fi utilizate în aplicaţii industriale. Aceste aplicaţii nu necesită o precizie foarte mare a calculelor şi, în general, nici nu implică limitări ale memoriei, în schimb, reclamă ca factor determinant al calităţii lor o viteză cît mai mare de efectuare a calculelor, pentru a le înscrie în cuanta de timp a procesului.

În cadrul Institutului pentru tehnică de calcul din Bucureşti, pentru rezolvarea unor teme de genul celor expuse mai înainte a fost creată biblioteca BIMAR care răspunde, după părerea autorului, tuturor cerinţelor impuse şi care, din punct de vedere al timpului de execuţie, atinge limita minimă posibilă pentru rezolvarea prin soft-ware pe microprocesorul INTEL-8080 a acestei probleme.

1. Organizarea generală a bibliotecii

BIblioteca MAtematică Rapidă BIMAR este un modul de aproximativ 3,8 Kbytes, relocatabilă şi care necesită pentru execuţie un spaţiu de lucru în memoria RAM de minimum 20 octeţi consecutivi în aceeaşi pagină de memorie, plus 3 octeţi denumiţi MEMO 1, 2, 3. Adresa de început a zonei de lucru este păstrată permanent în registrele H (numărul paginii) şi C (adresa în pagină) şi, datorită reprezentării numerelor pe 4 octeţi, în această zonă de lucru încap 5 numere.

Accesul la cei 3 octeţi MEMO se face prin adresare directă, deci pot să nu fie în pagina de lucru, ceea ce permite utilizatorului să beneficieze de 236 octeţi liberi în pagina de lucru, suficienţi pentru memorarea a 59 numere.

Modul de apelare şi de lucru, cît şi numele subprogramelor respectă întocmai [2], astfel încît se utilizează în principal registrele de 4 octeţi de la $(C+4)$ şi $(C+8)$ pentru operanzi, rezultatul fiind întotdeauna mutat la $C+4$, cu posibilităţi de salvare oriunde în pagina RAM de lucru sau în afara ei.

Comunicaţia dintre sistemul de calcul şi exterior se poate efectua în principal în două moduri orientate spre :

— operator, prin intermediul consolei prin care poate primi numere (pe care le converteşte intern în binar virgulă mobilă) şi afişa rezultate în formate fixe (convertite intern din binar virgulă mobilă în zecimal) şi,

— interfaţă digital — analogică prin care primeşte şi transmite rezultate ca întregi în cod binar direct pe maximum 16 biţi cu semnul separat.

* Ing. *Tatoiu, G. V.* Institutul pentru tehnică de calcul — Bucureşti.

Pentru comunicația prin intermediul consolei, utilizatorul trebuie să definească două rutine care la fiecare apelare să transfere un caracter ASCII în, respectiv din, acumulator, fără să altereze conținutul registrelor interne.

Toate subprogramele de calcul sînt protejate împotriva erorilor, utilizatorul fiind informat asupra modului în care s-a terminat execuția.

Biblioteca a fost concepută pentru microprocesorul INTEL-8080/85, deci optimizarea s-a efectuat ținînd seama de posibilitățile acestuia. Execuția pe microprocesorul Z-80A va duce automat la înjumătățirea timpilor de execuție.

2. Reprezentarea internă a numerelor

Numerele sînt reprezentate intern în binar virgulă mobilă pe 4 octeți, sub forma:

$$N = sm \cdot 2^E, \text{ (fig. 1)},$$

unde m este mantisa în cod direct reprezentată normalizat la stînga pe 16 biți, cu semnul memorat separat, iar E este exponentul cu semn, în complement față de 2:

$$0{,}5 \leqslant m \leqslant 1 - 2^{-16} \text{ și: } -64 \leqslant E \leqslant 63$$

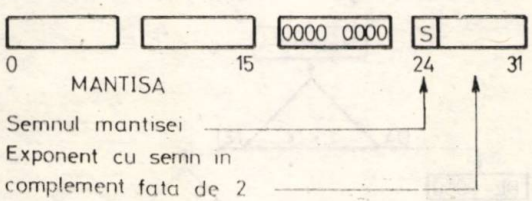


Fig. 1

Această reprezentare permite lucrul cu numere mai mici decît:

$$2^{63} - 2^{-16} \cong 9{,}2234 \cdot 10^{18}, \; <N = \text{overflow}$$

și mai mari decît:

$$2^{-65} \cong 2{,}7105 \cdot 10^{-20}, > N = \text{underflow}.$$

Numărul de cifre zecimale semnificative ale mantisei este de 4,5, ceea ce conduce la efectuarea calculelor cu o eroare relativă mai mică de 0,005.

Erorile sînt semnalate prin poziționarea bistabilului $CY = 1$, iar codul erorii este scris în acumulator și în octetul al treilea al numărului, valoarea numărului în aceste cazuri rezultînd din forma de reprezentare internă:

	CY	A	Număr			
normal	0	XX	XX	XX	00	sXX,
normal zero	0	00	00	00	00	40,
caracter ilegal	1	1F	1F	1F	1F	1F,
nedefinit	1	3F	FF	FF	3F	3F,
overflow	1	7F	FF	FF	7F	s3F,
underflow	1	FF	00	00	FF	s40

3. Subprograme de interfață orientate spre operator

Introducerea de numere în format zecimal se poate efectua prin intermediul consolei cu ajutorul subprogramului *INPUT*. Numărul poate avea orice formă ce derivă din forma generală:

$$N = s12.\ 345Es12 \text{ (terminator)},$$

terminatorul introducerii fiind „space", „CR" sau „,".

Numărul maxim de cifre semnificative ale mantisei este de 5, respectîndu-se condiția:

$$m < 2^{16} = 65\,536 \leqslant \text{overflow}.$$

Algoritmul de conversie este descris în [6]. Erorile ce pot apărea sînt semnalate prin $CY = 1$ (overflow, underflow sau caracter ilegal).

Subprogramul utilizează o zonă de lucru de 16 octeți de la adresa dată de H și C plus 2 octeți MEMO 1, 2, numărul convertit fiind depus oriunde în pagina de lucru la adresa HL, iar conținutul registrelor H, L, C nu este alterat.

În cadrul subprogramului se utilizează rutina *INP*, definită extern de utilizator, care aduce în A un caracter ASCII fără a altera conținutul celorlalte registre interne.

Afișarea în format zecimal virgulă fixă a numerelor reprezentate intern în binar virgulă mobilă se poate efectua prin intermediul consolei cu ajutorul subprogramului *AFIS*. Forma de afișare, într-un cîmp de 11 caractere ASCII, este:

$$N = s12.345\ Es9$$

și se determină de către utilizator prin programarea octetului MEMO 2 = *vvvSeeee* astfel:

vvv, numărul de cifre fracționare, $0 \div 5$, în binar;

S, semnul exponentului, 1 pentru minus;

eeee, exponentul, $0 \div 9$, în binar.

Subprogramul va converti cu rotunjire numărul:

$$M = N \cdot 10^{vvv - Se},$$

în întreg sub formă binară și apoi în 5 cifre *BCD* (cifra cea mai semnificativă fiind în CY) și va transmite în A, pe rînd, cele 11 coduri ASCII corespunzătoare formei de afișare descrisă mai înainte cu poziția virgulei și valoarea exponentului comandate prin MEMO 2.

Se observă ușor că numărul cel mai mic reprezentabil ca fiind nenul este:

$$0{,}5 \cdot 10^{-vvv+Seeee}, > N = 00000,$$

rotunjit la 00001 *ESeeee* cu *vvv* cifre fracționare, iar cel mai mare reprezentabil fără a da eroare este:

$$19\,999{,}4 \cdot 10^{-vvv+Seeee}, \; <N = \text{*****} (CY = 1),$$

rotunjit la 19999 *ESeeee* cu *vvv* cifre fracționare.

Subprogramul, în funcție de MEMO 2, transformă numărul N în întregul M și apoi, utilizînd algoritmul prezentat în figura 2, îl convertește în 5 cifre BCD aflate, respectiv în CY și HL și, în final, în 5 cifre ASCII aflate în B, C, D, E și H. Pentru transformarea lui N în M sînt utilizate constantele 10^n, $n = 0,...14$.

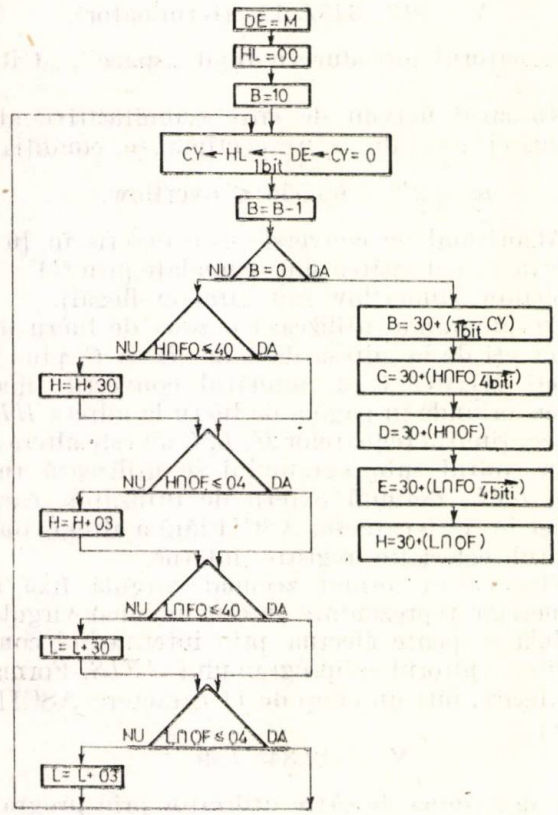


Fig. 2

Adresa numărului de afișat este dată de HL și dacă $L \neq C$, $L \neq C+8$, adresele celor 8 octeți necesari ca zonă de lucru, numărul nu este distrus. În final, în registrele DE se va găsi numărul M ca întreg cu semnul în B, iar conținutul registrelor H, L, C nu va fi alterat. Această organizare permite afișarea numerelor aflate în orice registru de 4 octeți accesibil utilizatorului în pagina de lucru RAM, fără a le distruge, în paralel cu transmiterea prin registrele DE a valorii scalate a numărului ca întreg.

Intrarea $CNDE$ în acest subprogram determină afișarea numărului M aflat în binar cod direct pe 16 biți în registrele DE și cu semnul în B. Poziția virgulei este dictată de MEMO 2 și eroarea $M > 19999$ este semnalată prin $CY = 1$. Subprogramul lucrează doar în registrele interne și nu alterează conținutul registrelor interne BC, DE, HL, deci nici numărul de afișat.

Pentru subprogramele AFIS și CNDE utilizatorul trebuie să definească extern rutina $OUTR$, care la fiecare apelare să preia din acumulator un caracter ASCII fără a altera conținutul celor 7 registre interne.

4. Subprograme orientate spre interfața digital — analogică

Valori întregi, reprezentate în cod binar direct pe maximum 16 biți, pot fi primite (aliniate la dreapta) prin registrele DE, cu semnul în registrul B, de către subprogramul $REAL$ care le convertește în binar virgulă mobilă. Conversia se efectuează deplasînd la stînga numărul pînă în momentul în care bitul cel mai semnificativ al mantisei este nenul, numărul de biți ai mantisei, micșorat cu numărul de deplasări la stînga constituind exponentul, iar semnul mantisei fiind preluat din registrul B.

Subprogramul scrie numărul convertit ca real la adresa dată de HL, lucrează numai în registrele interne și nu alterează conținutul registrelor BC, DE, HL, permițînd astfel folosirea ulterioară a numărului întreg primit.

Numerele reprezentate intern în binar virgulă mobilă pot fi convertite în numere întregi reprezentate pe maximum 16 biți în cod binar direct și cu semnul separat de către subprogramul $INTREG$. Conversia se realizează utilizînd algoritmul prezentat în figura 3. Numărul

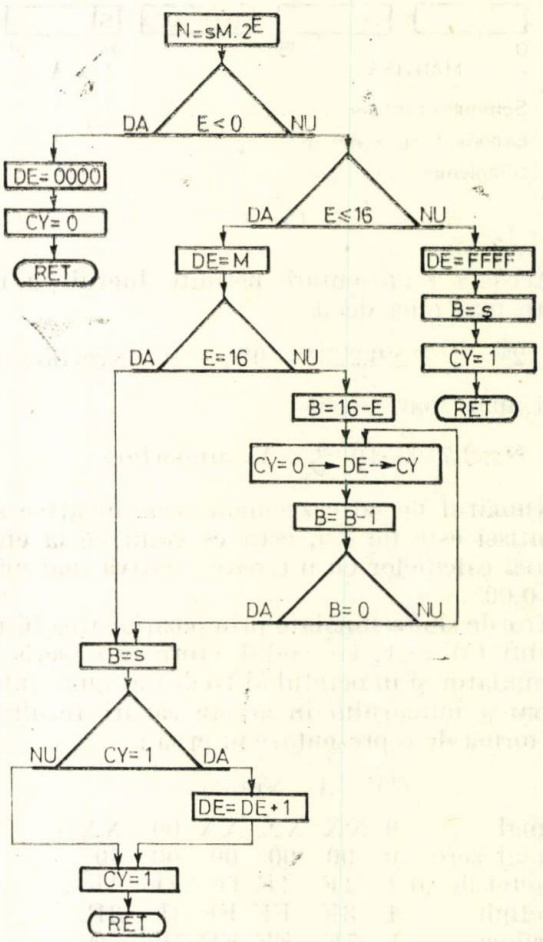


Fig. 3

real este adresat prin registrele *HL* și nu este distrus la sfîrșitul conversiei, iar numărul ca întreg se va găsi în registrele *DE* cu semnul *B*. Conversia se efectuează cu rotunjirea ultimului bit prin incrementare dacă prima zecimală este mai mare sau egală cu 5.

Încercarea de a converti un număr mai mare decît $2^{16}-1 = 65\,535$ este considerată eroare și semnalată prin $CY = 1$ iar $DE = FFFFH$. Subprogramul nu alterează conținutul registrelor *H*, *L* și *C* și lucrează numai în registrele interne.

5. Rutine aritmetice interne

Operațiile de adunare și scădere a două numere în virgulă mobilă se fac intern de către rutinele *LADD* și respectiv *LSUB*. Operanzii lor trebuie să fie în pagina de lucru adresați prin registrele *HL* și *HB*, iar rezultatul va fi depus în locul primului operand. Algoritmii sînt prezentați în [6] și aplicați în acest caz au dus la crearea unor rutine care lucrează numai în registrele interne utilizînd MEMO 1, 2, distrug operandul al doilea și nu alterează conținutul registrelor *BC* și *HL*.

Operațiile de înmulțire și împărțire sînt efectuate de *LMUL* și respectiv de *LDIV*. Operanzii lor sînt în pagina de lucru adresați de *HL* și respectiv *HB*, iar rezultatul va fi depus la adresa dată de *HC*. Se aplică și aici algoritmii descriși în [6], dar rutinele lucrează numai în registrele interne (utilizînd MEMO 1) și efectuează operația în două cicluri de cîte un octet. Operanzii nu sînt distruși, iar conținutul registrelor *BC* și *HL* nu este alterat.

Toate patru rutinele sînt minimizate din punct de vedere al timpului de lucru pe microprocesorul INTEL-8080 și protejate împotriva erorilor (overflow, underflow, nedefinit) pe care le semnalează prin $CY = 1$ și codurile corespunzătoare.

6. Subprograme aritmetice utilizator

Cele patru rutine aritmetice interne intră în componența subprogramelor aritmetice utilizator *LADD*1, *LSUB*1, *LMUL*1, *LDIV*1 care efectuează operații între primul operand, aflat la adresa $C+4$ în pagina *H* de lucru și al doilea operand aflat la adresa *DE* în orice altă pagină, rezultatul fiind scris în locul primului operand și adresat de *HL* ($L = C+4$). Acest mod de lucru permite scrierea cu ușurință de programe pentru calcule legate, rezultatul transformîndu-se în operand al operației următoare.

Intern, subprogramele mută operandul al doilea de la adresa *DE* la $C+8$ în pagina RAM de lucru poziționînd corespunzător registrele *L* și *B* pentru a efectua operațiile cu ajutorul rutinelor aritmetice interne și în cazul înmulțirii și împărțirii scrie rezultatul aflat la adresa *HC* în locul primului operand.

Intrările *LADD*0, *LSUB*0, *LMUL*0, *LDIV*0 în subprogramele aritmetice utilizator preiau al doilea operand din pagina RAM de lucru, poziția față de baza *C* fiind indicată prin registrul *E*. Aceste intrări simplifică scrierea programelor pentru calcule în care al doilea operand se află salvat în pagina RAM de lucru.

Bineînțeles că toate opt subprogramele nu alterează adresa *HC* și sînt protejate împotriva erorilor.

7. Subprograme de transfer intern de date

Pagina de lucru RAM este organizată în registre de cîte 4 octeți începînd de la adresa *HC*. Al doilea registru, aflat la $C+4$, este cel mai folosit deoarece operațiile aritmetice îl consideră ca operand întîi, funcțiile mută tot aici argumentul aflat la adresa dată de *HL*, iar rezultatul tuturor operațiilor aritmetice și funcțiilor rămîne în acest registru indicat la returul din subprogram de către registrul 1, $L = C + 4$. În registrul de la $C+8$ se aduce operandul al doilea, iar primul registru, de la *C*, servește doar pentru lucru rutinelor de înmulțire și împărțire și normal utilizatorul nu-l poate adresa.

Restul registrelor sînt accesibile pentru salvări de date (registrele de la $C+12$ și $C+16$ cu restricții, deoarece se află în zona de lucru a anumitor subprograme care salvează aici rezultate parțiale).

Pentru această organizare a memoriei RAM și pentru a satisface modul de lucru al subprogramelor de calcul în condițiile optimizării scrierii de programe păstrînd *HC*, utilizatorul beneficiază de subprograme care :

a — mută date din orice pagină în pagina de lucru, sursa fiind adresată prin registrele *BE*. Există subprogramul *PROP*1 care multă datele la $C+4$ poziționînd registrele $L=C+8$ și $B=C+4$ și subprogramul *PROP*2 care mută datele la $C+8$ și poziționează registrele $L=C+4$ și $B=C+8$;

b — salvează date din pagina de lucru, sursa fiind adresată prin *HL*, în orice pagină RAM, destinația fiind adresată prin *DE*. Numele subprogramului este *TRANS* și nu alterează nici conținutul registrelor *B* și *L* ;

c — mută date din pagina de lucru la $C+4$, sursa fiind adresată de *L* și poziționează $L=C+4$, operație realizată de subprogramul *STND*1 ;

d — salvează date în interiorul paginii de lucru, sursa fiind adresată prin registrul *L*. Subprogramul *SALV* salvează la adresa $C+12$, iar subprogramul *SALV*1 salvează la adresa dată de *C* plus un deplasament aflat în *A* și nici unul nu alterează conținutul registrului *L* ;

e — mută date în interiorul paginii de lucru, destinația fiind adresată prin registrul *L*. Adresa sursei se determină cu registrul *E*, ca

valoare absolută pentru subprogramul *CPEL2*, sau ca deplasament relativ la *C* pentru subprogramul *CPEL1*, ambele nealterînd conținutul registrului *L*.

8. Subprograme de calcul ale funcțiilor de un argument

Subprogramele de calcul ale funcțiilor de un argument ce vor fi descrise în continuare necesită o zonă RAM de lucru de 16 sau 20 octeți începînd de la adresa dată de registrele *HC* al căror conținut nu este alterat. Toate subprogramele, cu excepția aceluia de calcul al radicalului, necesită încă un octet extern MEMO 3. Argumentul funcției se află în pagina de lucru la adresa dată de *L*, este mutat la *C*+4 și tot aici se va găsi și rezultatul. La returul din subprogram, $L = C+4$, iar în caz de eroare $CY = 1$ și se scrie codul erorii.

ESQR — subprogramul de calcul al funcției radical.

Se utilizează următorul algoritm de calcul:

$x = sm \cdot 2^E$

Dacă $x < 0$, atunci eroare = nedefinit.

Dacă $x = 0$, atunci $\sqrt{x} = 0$.

Există două ramuri în funcție de E:

— par, $E = 2e$.

Se utilizează substituția $y = m \cdot 2^0$.

Atunci, calculul iterativ este:

$$z_1 = a_p y + b_p,$$

$$z_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{y}{z_1} + z_1\right)$$

și:

$$\sqrt{x} = \text{Real}\ (e-1) \cdot \left(\frac{y}{z_2} + z_2\right);$$

— impar, $E = 2e+1$.

Se utilizează substituția $y = m \cdot 2^{-1}$

Atunci, calculul iterativ este:

$$z_1 = a_i y + b_i,$$

$$z_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{y}{z_1} + z_1\right),$$

și:

$$\sqrt{x} = \text{Real}\ (e) \cdot \left(\frac{y}{z_2} + z_2\right);$$

Constantele utilizate sînt:

$a_p = 0{,}581250 = 94\ 00\ 00\ 00,$

$b_p = 0{,}421875 = D8\ 00\ 00\ 7F,$

$a_i = 0{,}875000 = E0\ 00\ 00\ 00$

$b_i = 0{,}278630 = 8E\ AA\ 00\ 7E.$

EEXP — subprogramul de calcul al funcției exponențiale.

Se utilizează următorul algoritm de calcul:

$x = sm \cdot 2^E$ și $f = 00H$.

Dacă $|x| \geqslant 43$, $x > 0$, atunci eroare = = overflow.

Dacă $|x| \geqslant 43$, $x < 0$, atunci $e^x = 0$.

Dacă $x < 0$, atunci $x = |x|$ și $f = 80H$.

Dacă $x < 4$, atunci $f = f + 01H$.

Pentru $x \geqslant 4$, atunci $N = 4$. Întreg $(x/4)$ și la adresa (baza + N) se găsește valoarea e^N, $N = 4k$, unde $k = 1, \ldots, 10$.

Deoarece argumentul seriei de calcul a exponențialei este $0 \leqslant x < 4$, atunci:

$$x = x - \text{Real}\ (N).$$

Seria de calcul este:

$$e^x = (c_3x^3 + c_2x^2 + c_1x + 1)^4.$$

Dacă $f \cap 01H = 0$, atunci $e^x = e^x \cdot e^N$.

Dacă $f \cap 80H \neq 0$, atunci $e^x = 1/e^x$.

Constantele utilizate sînt:

$c_1 = 0{,}2507213 = 80\ 5E\ 00\ 7F,$

$c_2 = 0{,}0292732 = EF\ CE\ 00\ 7B,$

$c_3 = 0{,}0038278 = FA\ DC\ 00\ 78,$

$e^4 = 5{,}459815\ E01 = DA\ 64\ 00\ 06,$

$e^8 = 2{,}980958\ E03 = BA\ 4F\ 00\ 0C,$

$e^{12} = 1{,}627548\ E05 = 9E\ F1\ 00\ 12,$

$e^{16} = 8{,}886110\ E06 = 87\ 97\ 00\ 18,$

$e^{20} = 4{,}851652\ E08 = E7\ 58\ 00\ 1D,$

$e^{24} = 2{,}648912\ E10 = C5\ 5C\ 00\ 23,$

$e^{28} = 1{,}446257\ E12 = A8\ 5E\ 00\ 29,$

$e^{32} = 7{,}896296\ E13 = 8F\ A2\ 00\ 2F,$

$e^{36} = 4{,}311236\ E15 = F5\ 11\ 00\ 34,$

$e^{40} = 2{,}353853\ E17 = D1\ 10\ 00\ 3A.$

ELOG — subprogramul de calcul al funcției logaritm natural.

Se utilizează următorul algoritm de calcul:

$$x = sm \cdot 2^E.$$

Dacă $x = 0$, atunci eroare = — overflow.

Dacă $x < 0$, atunci eroare = nedefinit.

Deoarece argumentul seriei de calcul al logaritmului $0 \leqslant y \leqslant 1$, se practică substituția $y = m \cdot 2^1 - 1$.

Seria de calcul este:

$$\ln(1+y) = c_4y^4 + c_3y^3 + c_2y^2 + c_1y.$$

Atunci:

$$\ln x = \ln(1+y) + \text{Real}\ (E-1) \cdot \ln 2.$$

Justificarea substituției se bazează pe:

$$x = m \cdot 2^E = m \cdot 2^1 \cdot 2^{E-1} = [1 + (m \cdot 2^1 - 1)] \cdot 2^{E-1} = (1+y) \cdot 2^{E-1}.$$

Constantele utilizate sînt :

$c_1 = 0{,}9974442 = \text{FF 54 00 00},$

$c_2 = -0{,}4712839 = \text{F1 4C 00 FF},$

$c_3 = 0{,}2256685 = \text{E7 16 00 7E},$

$c_4 = -0{,}0587527 = \text{F0 A7 00 FC},$

$\ln 2 = 0{,}9314718 = \text{B1 72 00 00}.$

ECOS — subprogramul de calcul al funcției cosinus.

Argumentul este în radiani în domeniul :

$$\alpha \in [-3\pi/2, 5\pi/2].$$

Depășirea domeniului de definiție nu este semnalată.

Se calculează $\cos\alpha = \sin(\pi/2 - \alpha)$.

ESIN — subprogramul de calcul al funcției sinus.

Argumentul este în radiani în domeniul :

$$\alpha \in [-2\pi, 2\pi].$$

Depășirea domeniului de definiție nu este semnalată.

Se utilizează următorul algoritm de calcul :

$f = 00\text{H}$.

Dacă $\alpha < 0$, atunci $\alpha = |\alpha|$ și $f = 80\text{H}$.

Se procedează la substituția :

$$x = \frac{\alpha}{\pi/2}, \text{ deci } 0 \leqslant x \leqslant 4.$$

Dacă $x > 2$, atunci $x = 4 - x$ și $f = f + 80\text{H}$.

Dacă $x > 1$, atunci $x = 2 - x$.

Seria de calcul este :

$$\sin\alpha = c_5x^5 + c_3x^3 + c_1x,$$

pentru $x \in [0, 1]$, adică $\alpha \in [0, \pi/2]$.

Dacă $f \cap 80\text{H} \neq 0$, atunci $\sin\alpha = -\sin\alpha$.

Constantele utilizate sînt :

$c_1 = 1{,}5706268 = \text{C9 08 00 01},$

$c_3 = -0{,}6432292 = \text{A4 AB 00 80},$

$c_5 = 0{,}0727102 = \text{94 E9 00 7D},$

$\pi/2 = 1{,}5707963 = \text{C9 10 00 01}.$

ETAN — subprogramul de calcul al funcției tangentă .

Argumentul este în radiani în domeniul :

$$\alpha \in [-\infty, +\infty].$$

Algoritmul de calcul este următorul :

Se procedează la substituția :

$$x = \frac{\alpha}{\pi/4}, \quad f = 00\text{H}.$$

Dacă $x < 0$, atunci $x = |x|$ și $f = f + 01\text{H}$.

Dacă $x > 2$, atunci $x = 4 - x$ și $f = f + 01\text{H}$.

Trecerea repetată prin aceste două teste are ca efect reducerea argumentului la primul cadran, adică $x \in [0, 2]$.

Dacă $x > 1$, atunci $x = 2 - x$ și $f = f + 80\text{H}$.

Dacă $x \geqslant 0{,}5$, atunci $x = 2x - 2$ și $f = f + 40\text{H}$.

Pentru $x < 0{,}5$, $x = 2x$.

Seria de calcul este :

$$y = c_5x^5 + c_3x^3 + c_1x,$$

pentru $x \in [-1, 1]$, adică $\alpha \in [-\pi/8, \pi/8]$.

Dacă $f \cap 40\text{H} \neq 0$, $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{-(y+8)}{y+8}$.

Pentru $f \cap 40\text{H} = 0$, $\operatorname{tg}\alpha = y/8$.

Dacă $f \cap 80\text{H} \neq 0$, $\operatorname{tg}\alpha = 1/\operatorname{tg}\alpha$.

În acest caz, dacă $\alpha = k\pi/2$, eroare = overflow.

Dacă $f \cap 01\text{H} \neq 0$, $\operatorname{tg}\alpha = -\operatorname{tg}\alpha$.

Constantele utilizate sînt :

$c_1 = 3{,}141592 = \text{C9 10 00 02},$

$c_3 = 0{,}16150215 = \text{A5 61 00 7E},$

$c_4 = 9{,}906786\text{ E-3} = \text{A2 50 00 7A},$

$\pi/4 = 0{,}7853982 = \text{C9 10 00 00},$

$0.0 = 0 = \text{00 00 00 40},$

$1.0 = 1 = \text{80 00 00 01},$

$2.0 = 2 = \text{80 00 00 02},$

$8.0 = 8 = \text{80 00 00 04}.$

EATN — subprogramul de calcul al funcției arctangentă.

Algoritmul de calcul este următorul :

$f = 00\text{H}$.

Dacă $x < 0$, atunci $x = |x|$ și $f = 80\text{H}$.

Dacă $x \geqslant 1$, atunci $x = 1/x$.

Pentru $x < 1$, $f = f + 40$ H.

Seria de calcul este :

$$\operatorname{arctg} x = c_5x^5 + c_3x^3 + c_1x$$

și este valabilă doar pentru $0 \leqslant x \leqslant 1$.

Dacă $f \cap 40\text{H} = 0$, atunci $\operatorname{arctg} x = \pi/2 - \operatorname{arctg} x$.

Dacă $f \cap 80\text{H} \neq 0$, atunci $\operatorname{arctg} x = -\operatorname{arc\,tg} x$.

Constantele utilizate sînt :

$c_1 = 0{,}995354 = \text{FE CF 00 00},$

$c_3 = -0{,}288679 = \text{93 CE 00 FF},$

$c_5 = 0{,}079331 = \text{A2 78 00 7D}.$

9. ***EPWR*** **— subprogramul de calcul al funcției putere.**

Subprogramul calculează funcția x^y, funcție de argumente aflate în pagina de lucru la adrese date de registrele L pentru x și respectiv B pentru y. Subprogramul mută pe x la $C+4$ și salvează pe y la $C+16$, calculează într-o zonă de lucru de 20 octeți utilizînd MEMO 1, 2, 3 și scrie rezultatul la $C+4$ poziționînd registrul $L = C+4$.

La baza calculului stă următoarea relație :

$$x^y = e^{y \cdot \ln x}.$$

Erorile sînt semnalate prin $CY = 1$ și scrierea corespunzătoare a codurilor.

Dacă $x = y = 0$, atunci eroarea = nedefinit.

Dacă $x < 0$, atunci eroarea = nedefinit.

Dacă $y \cdot \ln x \geqslant 43$, atunci eroarea = overflow.

Logaritmul și exponențiala sînt calculate cu ajutorul subprogramelor *ELOG* și *EEXP* care emit și mesajele de eroare.

Concluzii

Biblioteca aritmetică BIMAR a fost concepută în cadrul Institutului pentru tehnică de calcul din București pentru a fi folosită pe simulatoare în timp real ale unor procese rapide. Precizia dată de o mantisă de 16 biți este suficientă pentru astfel de calcule, iar dezideratul minimizării timpilor de lucru, după cum se vede în anexe, a fost îndeplinit. Faptul că această bibliotecă este utilizată de mai mulți programatori pentru scrierea în comun de programe complexe de simulare a impus optimizarea modului de lucru și apelare a subprogramelor, cît și a fluxului de date, în sensul utilizării cît mai facile a acestei biblioteci.

Anexe

Timpii medii de lucru ai subprogramelor pe sisteme utilizînd microprocesorul INTELL 8080, în ms :

LADD — 0,5
LSUB — 0,5
LMUL — 1,1
LDIV — 1,3
ESQR — 7
EEXP — 9
ELOG — 5
ECOS — 7,5
ESIN — 7
ETAN — 8
EATN — 8
EPWR — 14
AFIS — 2
CNDE — 0,7

Bibliografie

[1] *Chu, Yaohan.* Bazele proiectării calculatoarelor numerice. București, Editura tehnică, 1968.
[2] * * * Biblioteca aritmetică MC8/MC80. Manual de utilizare.
[3] * * * FTPLK. SOU. Sursa bibliotecii aritmetice MC8/MC80.
[4] * * * CII IRIS 50. Sous-programs additifs a la bibliothèque scientifique FORTRAN.
[5] *Hastings, C.* jr. Approximations for Digital Computers., Princeton University Press, 1955.
[6] *Tatoiu, V.* Bibliotecă aritmetică și de funcții virgulă mobilă — dublă precizie pentru sisteme de calcul utilizînd microprocesoare de 8 biți In : E.E.A. — A.E.**27**, nr. 4, decembrie, 1983, p. 138.

E 2040/1

Energia

REFERALVA

R 1985 MAI 2 0

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 33 • NR. 3 • APRILIE 1985

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

Anul 33 Nr. 3 aprilie 1985

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 621.314.5 : 628.9

CRIOTRANSFORMATOR
PROIECTARE

Puşcaşu, S., Calotă, G. : **Unele particularităţi de proiectare a transformatorului criorezistiv de 630 kVA, 6/0,4 kV.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 101

Se prezintă citeva contribuţii originale în studiul şi proiectarea criotransformatorului cu azot lichid de 630 kVA. Se subliniază particularităţile de proiectare a părţii electromagnetice şi a celei termice. Se fac, de asemenea, unele consideraţii de ordin tehnic şi economic.

CZ 621.319.5 : 538.567

OSCILOMOTOR ELECTRODINAMIC
MODELARE ANALITICĂ

Darie, S., Coloşi, T., Bălan, H. : **Modelarea analitică şi analiza unui oscilomotor electrodinamic, prin relaţii intrare-ieşire.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 106

Lucrarea prezintă o primă etapă de modelare analitică simplificată şi aspecte de analiză prin relaţii de tip intrare-ieşire, pentru oscilomotoare de tip electrodinamic, proiectate şi realizate pentru industrie.

CZ 621.3.012 : 621.317.35

CIRCUITE ELECTRICE
PROGRAM DE CALCUL

Iordache, M., Dornescu, D. : **PSACELN — Program de Simulare şi Analiză a circuitelor Electrice Liniare sau Neliniare.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 115

În lucrare se prezintă un program original de simulare şi analiză a circuitelor electrice cu un grad înalt de complexitate. Circuitele analizate pot fi liniare sau neliniare, reciproce sau nereciproce, conexe sau neconexe. PSACELN calculează numeric orice mărime de transfer dintre oricare două porţi ale circuitului analizat. Mărimile de excitaţie (t.e.m. ale surselor independente de tensiune şi curenţii surselor independente de curent) pot fi constante sau variabile în timp. PSACELN este la bază o metodă originală de analiză de tip tablou prezentată în [1,8].

CZ 621.3.032.4 : 621.316.5

DISPOZITIV ELECTRONIC
CONTACTE ELECTRICE

Truşcă, V., Boboş, A. : **Dispozitiv pentru încercat contacte electrice cu control de fază.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 120

Aparatul prezentat în lucrare reprezintă o realizare originală a autorilor, cu ajutorul căruia este posibil să se efectueze încercări ale contactelor electrice cu control de fază.

CZ 538.12 : 621.3.013 : 621.313.3

CÎMP MAGNETIC
MOTOARE SINCRONE
ELEMENT DE FRONTIERĂ

Vasile, N. : **Calculul cîmpului magnetic inductor la motoarele sincrone cu magneţi ceramici prin metoda elementelor de frontieră.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 128

Se prezintă calculul cîmpului magnetic inductor şi al cîmpului magnetic de dispersii rotorice pentru motoarele sincrone cu magneţi permanenţi ceramici.

CZ 621.317.7. : 621.369

CONTOARE DE INDUCŢIE
METODA ELEMENTELOR FINITE

Cepişcă, C. : **Momentul cuplului activ la contoarele de inducţie trifazate de precizie, determinat cu metoda elementelor finite.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 133

Pe baza modelării cu elemente finite, a influenţei între dispozitivele de măsură aferente celor trifazate, ca şi a influenţei repartiţiei magnetice din întrefier, lucrarea urmăreşte să dea un răspuns cantitativ asupra calculului momentului cuplului activ la contoarele de inducţie trifazate.

CZ 621.319.7 : 622.777

TRAIECTORII DE SEPARARE
CÎMP CORONA
ELECTROSEPARATOR CORONA

Iuga, Al., Morar, R. : **Traiectorii de separare în cîmp corona.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 137

Lucrarea analizează unghiul de desprindere, coeficientul de separabilitate şi traiectoriile particulelor minerale în electroseparatorul de tip corona. Calculele se efectuează pentru particule sferice, încărcate la saturaţie, cu neglijarea alunecării pe cilindru şi a rezistenţei aerului.

RECENZIE 142

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. ing. I. S. ANTONIU, membru coresp. la Academiei R. S. România ; prof. dr. ing. C. APETREI ; acad. dr. doc. şt. tehn. ing. A. AVRAMESCU ; ing. I. BĂTRÎNA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. N. BOŢAN ; dr. ing. C. BULUCEA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. S. CĂLIN ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. T. DORDEA ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. S. FLOREA ; prof. dr. ing. M. HĂNGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; prof. dr. ing. S. PUŞCAŞU ; ing. M. SÎRBU ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI
Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.314.5: 628.9

КРИОТРАНСФОРМАТОР
ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Пушкашу, С., Калотэ, Г.: **Несколько особенностей проектирования криорезистивного трансформатора 630 кВА, 6/0,4 кВ.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 3, апрель 1985, стр. 101

Представлены несколько оригинальных содействий в изучении и проектировании криотрансформатора с жидким азотом 630 кВА. Подчеркнуты особенности проектирования электромагнитной и термической части. Предсавлены также технические и экономические соображения.

УДК 621.319.5: 538.567

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ОСЦИЛЛОДВИГАТЕЛЬ
АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Дарие, С., Колоши, Т., Бэлан, Х.: **Аналитическое моделирование и анализ электродинамического осциллодвигателя при помощи отношений ввода-вывода.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 3, апрель 1985, стр. 106

Работа представляет первый этап аналитического упрощенного моделирования и виды анализа при помощи отношений ввода-вывода для осциллодвигателей электродинамического типа, проектированные и созданные для промышленности.

УДК 621.3.012: 621.317.35

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ
ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Иордаке, М., Дорнеску, Д.: **PSACELN — программа моделирования и анализа линейных и нелинейных электрических цепей.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 3, апрель 1985, стр. 115

В работе представляется оригинальная программа моделирования и анализа электрических цепей с высокой степенью сложности. Анализируемые цепи могут быть: линейные или нелинейные, обращённые или необращённые, соединённые/несоединённые. PSACELN вычисляет любую величину передачи между любыми двумя схемами анализируемой цепи. Величины возбуждения (э.д.н. независимых источников напряжения и токи независимых источников тока) могут быть постоянными или переменными во времени. PSACELN является в основном оригинальным методом анализа типа картины, представленным в [1,8].

УДК 621.3.032.4: 621.316.5

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

Трушкэ, В., Бобош, А.: **Прибор для испытания электрических контактов с контролем фазы.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 3, апрель 1985, стр. 120

Прибор, представленный в работе, является оригинальной реализацией авторов, при помощи которого возможно испытать электрические контакты с контролем фазы.

УДК 538.12: 621.3.013: 313.3

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ
СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ
ПОГРАНИЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Василе, И.: **Исчисление индуктирующего магнитного поля у синхронных двигателей с керамическими магнитами при помощи метода пограничных элементов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 3, апрель 1985, стр. 128

Представляется исчисление индуктирующего магнитного поля и магнитного поля роторных рассеяний для синхронных двигателей с постоянными керамическими магнитами.

УДК 621.317.7:—621.369

ИНДУКЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ
МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Чепишкэ, К.: **Крутящий момент у индукционных трёхфазных счётчиков точности, определяемый методом конечных элементов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 3, апрель 1985, стр. 133

На основе моделирования конечными элементами, влияния между приборами измерения, относящимися к трёхфазным, как и влияния магнитного распределения в зажиме, работа имеет в виду количественно ответить о исчислении крутящего момента у индукционных трёхфазных счетчиков.

УДК 621.319.7: 622.777

СЕПАРИРУЮЩИЕ ТРАЕКТОРИИ
ПОЛЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА
КОРОННЫЙ ЭЛЕКТРОСЕПАРАТОР

Юга, Ал., Морар, Р.: **Сепарирующие траектории в поле коронного разряда.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 3, апрель 1985, стр. 137

В статье рассматриваются угол отрыва, сепарирующий коэффициент и траектории минеральных частиц в электросепараторе коронного типа. Расчёты проводятся для сферических чатиц заряжённые до насыщения в отсутствие скольжения на цилиндр и без учёта сопротивления воздуха.

INHALT

DK 621.314.5 : 628.9

KRYOTRANSFORMATOR
ENTWURF

Pușcașu, S., Calotă, G. : **Einige Besonderheiten des Entwurfs des Transformators mit spezifischem Kriowiderstand von 630 kVA.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 3, Apr 1985, S. 101

Es werden einige originale Beiträge zum Studium und dem Entwurf des Kryotransformators mit flüssigem Stickstoff, von 630 kVA, dargestellt. Es werden die Besonderheiten des Entwurfens des elektromagnetischen und des thermischen Teils unterstrichen. Es werden ebenfalls einige technische und ökonomische Betrachtungen dargestellt.

DK 621.319.5 : 538.567

ELECTRODYNAMISCHER OSZILLOMOTOR
ANALYTISCHE GESTALTUNG

Darie, S., Coloși, T., Bălan, H. : **Die analytische Gestaltung und Analyse eines elektrodynamischen Oszillomotors durch Beziehungen Eingang — Ausgang.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 3, Apr 1985, S. 106

Die Arbeit beschreibt die erste Etappe einer vereinfachten analytischen Gestaltung und Analyseaspekte durch Beziehungen vom Typ Eingang-Ausgang für Oszillomotoren von elektrodynamischem Typ, die für die Industrie entworfen und verwirklicht wurden.

DK 621.3.012 : 621.317.35

STROMKREISE
SIMULIERPROGRAMM

Iordache, M., Dornescu, D. : **PSACELN — Simulier — und Analyseprogramm der linearen und nichtlinearen Stromkreise.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 3, Apr 1985, S. 115

In der Arbeit wird ein originales Simulier — und Analyseprogramm für die Stromkreise mit einem hohen Komplexitätsgrad dargestellt. Die analysierten Stromkreise können linear oder nichtlinear, reziprok oder nichtreziprok, zusammengeschaltet oder nicht zusammengeschaltet sein. PSACELN berechnet numerisch jedwelche Übergangsgrösse zwischen jedwelchen zwei Toren des analysierten Stromkreises. Die Erregungsgrössen (die elektromotorischen Spannungen der spannungsunabhängigen Quellen und die Ströme der stromunabhängigen Quellen) können konstant oder veränderlich im Laufe der Zeit sein. PSACELN ist grundegelegen eine originale Analysemethode Typ Schema, die in [1, 8] dargestellt wird.

DK 621.3.032.4 : 621.316.5

ELEKTRONISCHE VORRICHTUNG
ELEKTRISCHE KONTAKTE

Trușcă, V., Boboș, A. : **Vorrichtung für die Überprüfung der elektrischen Kontakte mit Phasenkontrolle.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 3, Apr 1985, S. 120

Das Gerät, das in der vorligenden Arbeit vorgestellt ist, stellt eine originale Realisierung der Autoren dar, mittels deren es möglich ist, elektrische Kontakte mit Phasenkontrolle zu überprüfen.

DK 538.12 : 621.3.012 : 621.313.3

MAGNETFELD
SYNCHRONMOTOREN
RANDELEMENT

Vasile, N. : **Die Berechnung des Induktionsmagnetfeldes bei den Synchronmotoren mit Keramikmagneten durch die Methode der Randelemente.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 3, Apr 1985, S. 128

Es wird die Berechung des Induktionsmagnetfeldes und des Magnetfeldes mit rotorischen Streuungen für die Synchronmotoren mit permanenten Keramikmagneten dargestellt.

DK 621.317.7 : 621.369

INDUKTIONSZÄHLER
DIE METHODE DER FINITEN ELEMENTE

Cepișcă, C. : **Das aktive Drehmoment bei den dreiphasigen Präzisions — Induktionszählern, bestimmt mit der Methode der finiten Elemente.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 3, Apr 1985, S. 133

Aufgrund der Gestaltung, mit finiten Elementen, des Einflusses zwischen den, den dreiphasigen Messanordnungen zugehörigen Einrichtungen, sowie des Einflusses der magnetischen Verteilung im Luftspalt, vorfolgt die Arbeit eine quantitative Antwort über die Berechnung des aktiven Drehmoments bei den dreiphasigen Induktionszählern zu geben.

DK 621.319.7 : 622.777

TRENNUNGSBAHNEN
KORONA-FELD
ELEKTRISCHE KORONA — TRENNVORRICHTUNG

Iuga, Al., Morar, R. : **Trennungsbahnen im Korona — Feld.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 2, Apr 1985, S. 137

Die Arbeit analysiert den Ablösungswinkel, den Trennbarkeitskoeffizient und die Bahnen der Mineralteilchen in der elektrischen Trennvorrichtung Typ Korona. Die Berechnungen werden für kugelförmige Teilchen, die bis zur Sättigung geladen sind, durchgeführt, mit Vernachlässigung der Wanderung auf dem Zylinder und des Luftwiderstands.

CONTENTS

DC 621.314.5 : 628.9

CRYOTRANSFORMER
DESIGN

Puşcaşu, S., Calotă, G. : **Some design characteristics of the cryoresistive transformer.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 101

The paper presents some original contributions to the study and design of the 630 KVA cryotransformer with liquid nitrogen. The authors lay stress on the design characteristics of the electromagnetic and thermal component parts. Some technical and economical considerations are also made.

DC 621.319.5 : 538.567

ELECTRO-DYNAMIC OSCILLOMOTOR
ANALYTICAL MODELLING

Darie, S., Coloşi, T., Bălan, H. : **Analytical modelling and electrodynamic oscillomotor analysis through input-output relations.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 106

The paper presents the first stage of simplified analytical modelling and some aspects of the analysis through input-output type of relations for electro-dynamic oscillomotors designed and achieved for industry.

DC 621.3.012 : 621.317.315

ELECTRIC CIRCUITS
PROGRAMME OF SIMMULATION

Iordache, M., Dornescu, D. : **PSACELN — Programme of simulation and analysis of linear and non — linear electric circuits.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985. p. 115

The paper is concerned with on original programme of simulation and analysis of highly complex electric circuits. The analysed circuits may be linear or non-linear, reciprocal or unreciprocal, connected or unconnected. The PSACELN programme numerically calculates any transfer magnitude between any gates of the analysed circuit. Exitation magnitudes (e.m.f of sources irrespective of voltage and currents of sources irrespective of current) may be invariable or variable in time. PSACELN is based on a table type original method of analysis presented in [1, 8].

DC 621.3.032.4 : 621.316.5

ELECTRONIC DEVICE
ELECTRIC CONTACTS

Truşcă, V., Boboş, A. : **Testing device for phase control electric contacts.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 120

The device presented in this paper represents on original achievement of the authors, with the help of which tests of control phase electric contacts are possible to perform.

DC 538.12 : 621.3.013. : 621.313.2

MAGNETIC FIELD
SYNCHRONOUS MOTORS
BOUNDARY ELEMENT

Vasile, N. : **Calculation of inductive magnetic field for ceramic magnet synchronous motors using the boundary element method.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 128

The author presents the calculation of inductive magnetic field and of rotor dispersion magnetic field for permanent ceramic magnet synchronous motors.

DC 621.317.7 : 621.369

INDUCTION METERS
FINITE ELEMENT METHOD

Cepişcă, C.: **Active couple moment for accurate triphase induction meters, determined with the help of the finite element method.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 133

The paper aims at a quantitative answer on the calculation of the active couple moment for triphase induction meters on the basis of the finite element modelling, of the influence among measuring devices adherent to the triphase ones, as well as of the influence of magnetic field distribution in air gap.

DC 621.319.7. : 622.777

SEPARATION TRAJECTORIES
CORONA FIELD
CORONA ELECTROSEPARATOR

Iuga, Al., Morar, R. : **Corona-field separation trajectories.**

E.E.A. — **Electrotechnica 33**, nr. 2, apr 1985, p. 137

This paper analyzes the detachment angle, separability coefficient and the mineral particles trajectories in the corona-type electroseparator. The calculus is effectuated for spherical particles, charged to saturation, neglecting the sliding on the cylinder and the air resistivity.

SOMMAIRE

CD 621.314.5 : 628.9

CRIOTRANSFORMATEUR
PROJÉCTION

Puşcaşu, S., Calotă, G. : **Quelques particularités de projéction du transformateur criorésistif de 630 KVA.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 101

On présente quelques contributions originales dans l'étude et la projection du criotransformateur criorésistif avec azote liquide. On relève les particularités de la projection de la partie éléctromagnetique et thérmique du criotransformateur. On fait aussi quelques considérations d'ordre technique et économique.

CD 621.319.5 : 538.567

OSCILLOMOTEUR ÉLECTRODYNAMIQUE
MODÉLAGE ANALYTIQUE

Darie, S., Coloşi, T., Bălan, H. : **Modélage analytique et analyse d'un oscillateur électrodynamique par relations entrée-sortie.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 106

L'ouvrage présente une prèmière étape de modélage analytique simplifié et des aspects d'analyse par relations de type entrée-sortie pour oscillomoteurs de type électrodynamique projetés et réalisés pour l'industrie.

CD 621.3.012 : 621.817.35

CIRCUITS ÉLECTRIQUES
PROGRAMME DE CALCULE

Iordache, M., Dornescu, D. : **PSACELN — programme de simulation et d'analyse des circuits électriques linéaires et nonlinéaire.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 115

L'ouvrage présente un programme original de simulation et d'analyse des circuits électriques avec un grand degré de complexité. Les circuits analysés peuvent être linéaires ou nonlinéaires, réciproques ou nonréciproques, connexes ou nonconnexes.

PSACELN calcule numériquement n'importe quelle grandeur de transphère entre les deux portes du circuit analysé. Les grandeurs d'excitation (t.e.m. des sources indépendantes de tension et les courants des sources indépendantes de courant) peuvent être constatées ou variables avec le temps. PSACELN est initialement une méthode originale d'analyse de type tableau présentée en [1,8].

CD 621.3.032.4 : 621.316.5

DISPOSITIF ÉLECTRONIQUE
CONTACTS ÉLECTRIQUES

Truşcă, V., Boboş, A. : **Dispositif pour le chargement des contacts électriques, avec controle de phase.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 120

L'apareil présenté dans cet ouvrage représente une réalisation originale des auteurs, à l'aide duquel on peut éfectuer des chargements des contacts électriques avec contrôls de phase.

CD 538.12 : 621.3.013 : 621.313.3

CHAMP MAGNÉTIQUE
MOTEURS SYNCHRONES
ELÉMENT DE FRONTIÉRE

Vasile, N. : **Calcul du champ magnétique inducteur, aux moteurs synchrones, avec des aimants céramiques, par la méthode des éléments de frontière.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 128

On présente le calcul du champ magnétique inducteur et du champ magnétique de dispersions rotorique, pour les moteurs synchrones, avec aimants permanents céramiques.

CD 621.317.7 : 621.369

COMPTEURS À INDUCTION
MÉTHODES DES ÉLÉMENTS FINIS

Cepişcă, C. : **Moment du couple actif aux compteurs à induction, triphasés de précision, dèterminé par la méthode des éléments finis.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 133

L'ouvrage cherche donner une réponse cantitative sur le calcul du moment du couple actif, aux compteurs à induction triphasés, conformément au modélage avec éléments finis, à l'influence existance entre les dispositifs de mesure afférents à ceux triphasés, tout comme à l'influence de la répartition magnétique de l'entrefer.

CD 621.319.7 : 622.777

TRAJECTOIRE DE SÉPARATION
CHAMPS CORONA
ELECTROSÉPARATEUR CORONA

Iuga, Al., Morar, R.: **Les trajectoires de séparation en champs Corona.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 3, apr 1985, p. 137

L'ouvrage analyse l'angle de détachement, le coefficient de séparation et les trajectoires des particules minérales dans l'électroséparateur de type Corona. Les calculs sont efectués pour les particules sphériques, chargées à la saturation avec omission du glissement sur le cylindre et de la résistance de l'air.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini apare în cadrul Oficiului de informare documentară al Institutului de cercetare ştinţifică şi inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.). Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 şi 695 plata abonamentelor făcîndu-se prin madat poştal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 3017.7.02.01 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii, ca şi pentru persoane particulare, este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA şi AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export-import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001. — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea „Informaţia“
Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 1023

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI

CZ 621.314.5:628.9

CRIOTRANSFORMATOR
PROIECTARE

Unele particularităţi de proiectare a transformatorului criorezistiv de 630 kVA, 6/0,4 kV

SILVIU PUŞCAŞU, GABRIEL CALOTĂ* — CRAIOVA

1. Generalităţi

Cu aproximativ 20 de ani în urmă societăţile Alsthom', L'Air liquide şi Pechiney din Franţa realizau primele transformatoare care foloseau pentru înfăşurări conductoare din metale de foarte înaltă puritate (în principal cupru şi aluminiu), situate la temperaturi foarte scăzute. Fără a se ajunge la nivelul proprietăţilor supraconductoarelor în condiţiile menţionate mai sus, deci fără a se anula, complet, rezistenţa ohmică a înfăşurărilor datorită scăderii rezistenţei ohmice odată cu micşorarea temperaturii, se obţineau importante creşteri ale densităţii de curent şi, deci, se conturau perspectivele reducerii gabaritelor transformatoarelor în comparaţie cu cele obişnuite, putîndu-se introduce, şi în acest caz, conceptul de „miniaturizare". Aceste transformatoare au fost denumite „*transformatoare criorezistive*", diferite deci, principial şi constructiv, de cele supraconductoare, care se bazează pe proprietăţi ce derivă din fenomenul de supraconductibilitate. Drept fluid criogenic s-a folosit, încă atunci, azotul lichid (temperatura de lichefiere 77 ... ...78°K), dar, ulterior s-au încercat şi alte categorii de fluide criogenice toate însă cu temperaturi mai ridicate decît cele mai ridicate temperaturi critice ale materialelor supraconductoare. Bineînţeles că s-au realizat, ca modele funcţionale de laborator, şi transformatoare supraconductoare la care s-a folosit, ca agent criogenic, în principal, heliul lichid. Problema esenţial-utilă fiind reducerile pierderilor trebuie menţionat că pe de o parte din motivele arătate mai sus pierderile prin efect Joule — Lenz în înfăşurări scad, dar, în cazul în care miezul feromagnetic este imersat în fluidul criogenic există o anumită creştere a pierderilor în fier, în principal, prin curenţi turbionari. Desigur, s-au încercat recent şi variante numai cu înfăşurările introduse în azot lichid dar cu miezul feromagnetic situat la temperatura mediului ambiant. În cele ce urmează se fac referiri la criotransformatoarele criorezistive cu miezul şi înfăşurările introduse în azot lichid (deci cu miezul la temperatura de 77 ... 78°K).

La proiectarea unui astfel de transformator este necesar să se pornească de la circuitul magnetic a cărui masă este cea mai mare din întreaga construcţie şi în care trebuie atenuate, pe cît posibil, creşterile de pierderi de putere prin curenţi turbionari, ca urmare a scăderii conductivităţii materialului feromagnetic respectiv. Acesta, în final, trebuie să aibă în vedere şi o reducere a masei circuitului magnetic. Astfel, pentru a micşora secţiunea miezului magnetic este necesar să crească numărul de spire, deci reactanţele înfăşurărilor. Dar o reactanţă cu valoare ridicată conduce la un flux de scăpări mai mare şi, deci, la pierderi suplimentare cu atît mai mari, cu cît conductivitatea este mai mare. Pentru a diminua acest efect negativ se va aplica soluţia intercalării înfăşurărilor subdivizate. Dacă această soluţie este uşor aplicabilă în cazul înfăşurării de joasă tensiune, la cea de înaltă tensiune apar dificultăţi datorită distanţelor de izolaţie mari (multiplicate cu numărul de subdiviziuni), care anulează toate avantajele obţinute sau scontate prin dimensionarea precizată mai sus.

Din cele precizate mai sus rezultă că utilizarea variantei criorezistive de transformator se recomandă numai în cazul unor curenţi foarte intenşi (deci în cazul unor tensiuni, în

* Prof. dr. ing. *Puşcaşu, S.* — Facultatea de electrotehnică, Universitatea din Craiova: *Calotă, G.* — CCSIT „Electroputere" — Craiova.

general, reduse ca valoare). Diminuarea pierderilor prin efect pelicular și curenți turbionari asociate înfășurărilor se mai poate realiza și prin folosirea, drept conductor, a benzilor de aluminiu cu grosimi de ordinul zecimilor pînă la al sutimilor de milimetri. În același timp aceste folii de aluminiu fac ca solicitările la tensiune să fie mai mici în comparație cu bobina convențională, deoarece între două straturi apare, pe de o parte, numai tensiunea pe spiră, iar pe de altă parte, prin realizarea unui cuplaj puternic, capacitiv, între spire conduce la o distribuție aproximativ liniară de unde de impuls repetate. Se menționează în mod deosebit, că forțele axiale la scurtcircuit, în bobinele de joasă tensiune, care folosesc folia de aluminiu sînt de aproximativ zece ori mai reduse decît cele existente în bobinele cu conductor convențional [2], concluzie reieșită din calcule și confirmată în laboratoarele de specialitate (de exemplu, teste la scurtcircuit au fost efectuate la „Laborelec", „KEMA" etc.).

Într-adevăr, forțele axiale, determinate de componenta radială a inducției magnetice sînt produse de structura asimetrică a înfășurărilor și au, în general, valori mici pentru că densitatea de curent în banda de aluminiu se adaptează corespunzător la curba cîmpului.

Trebuie subliniat, de asemenea, faptul că proprietățile mecanice ale materialelor depind substanțial de temperatură. Astfel, pentru cîteva materiale (Cu, Ni etc.) rezistența la curgere și rezistența la tracțiune cresc aproape de două ori cînd temperatura coboară de la 300°K la 80°K. Explicația este, în esență, următoarea: caracterul deformării plastice depinde de modul în care vibrează planele atomilor. În acest context un rol deosebit îl au dislocațiile, un tip de imperfecțiuni, în solidul cristalin. Este necesară o forță mai mare pentru a deforma materialul lipsit de dislocații, decît la cel cu dislocații. Efectul temperaturii scăzute constă în aceea că micșorează vibrațiile planelor atomilor și astfel împiedică deplasarea dislocațiilor în material [3].

2. Aplicații la transformatorul de 630 kVA, 6/10,4 kV

În cazul acestui transformator înfășurarea de joasă tensiune se poate diviza, în mod analog cu bobinajul cu galeți alternați. În acest fel el va fi alcătuit din două înfășurări concentrice cu grosimea redusă, pentru fiecare, la jumătate din cea a întregii înfășurări. Această construcție se va denumi, pe scurt, înfășurare cu bobine biconcentrice și este reprezentată, schematic, în figura 1. Se vor considera următoarele ipoteze simplificatoare:

$$w_1 = w_2\,;\quad i_1 = i_2 = i\,;\quad w_1 i_1 = w_2 i_2\,;$$

se presupune că raportul h variază liniar pe înălțimea secțiunii și are valori constante în spațiul dintre bobină. Pornind de la relația [9]:

$$L'_K = \mu_0 H_K \pi D_m^2 \int_1^8 \left[\frac{h(x)}{i}\right]^2 \mathrm{d}x, \qquad (1)$$

rezultă:

$$L'_K = \mu_0 \pi D_m \frac{w_1^2}{H_K} \cdot \frac{1}{2}\left[\frac{a_1 + a_2}{6} + \delta + \frac{\delta_2}{4} + \frac{\delta_1}{9}\right]. \qquad (2)$$

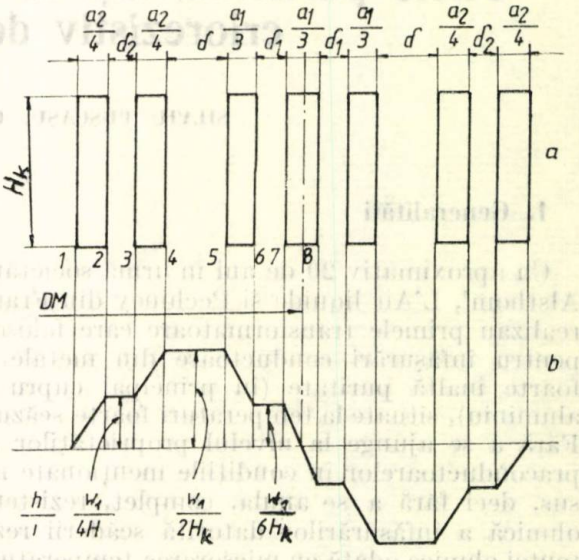


Fig. 1. Înfășurarea bioconcentrică (explicativă): a_1 — dimensiunea totală radială a înfășurării de înaltă tensiune (exclusiv canalele de răcire); a_2 — idem, pentru înfășurarea de j.t.; δ — dimensiunea radială a canalului de scăpări; δ_1 — dimensiunea radială a canalului de răcire din înfășurarea de i.t.; δ_2 — idem pentru j.t.; w — numărul de spire ale înfășurării de i.t.; H_k — înălțimea medie a înfășurărilor.

Într-adevăr ținînd seama de cele precizate în [4, p. 265] rezultă cu notația:

$$\alpha = \frac{1}{2}\left(\frac{\delta_2}{4} + \frac{\delta_1}{9}\right),$$

că:

$$\alpha = \delta_2\left(\frac{1}{4}\right)^2 + \delta_1 2\left(\frac{1}{6}\right)^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{\delta_2}{4} + \frac{\delta_1}{9}\right). \qquad (3)$$

Reactanța de scăpări are, deci, expresia:

$$X_k = \frac{3{,}95 f w_1^2 \pi D_m c K_R}{H_k} \cdot 16^{-8}, \qquad (4)$$

unde:

$$c = \delta + \frac{a_1 + a_2}{6} + \frac{\delta_2}{4} + \frac{\delta_1}{9}. \qquad (5)$$

Forţele radiale la scurtcircuit vor avea, şi ele, o expresie modificată. Pornind de la energia magnetică a cîmpului de scăpări:

$$W = \frac{I_1^2}{4\pi f} X_k, \tag{6}$$

pentru a determina forţele radiale în cazul înfăşurării biconcentrice se foloseşte teorema forţelor generalizate. Este necesar, deci, să se calculeze derivata parţială a energiei localizate în cîmpul de dispersie, în raport cu coordonata generalizată care, în acest caz, este 2δ, mărime ce ar tinde să se modifice sub acţiunea forţelor radiale [5, p. 224]. Prin urmare:

$$F_\delta = \frac{\partial W}{\delta(2\delta)} =$$

$$= 1{,}57 \cdot \frac{(I_1 w_1)^2 \, \pi D_m K_R}{H_k} \cdot 10^{-8} \, daN. \tag{7}$$

Bobinajul biconcentric mai prezintă încă un important avantaj şi anume acela că în înfăşurarea de înaltă tensiune (cea mediană) forţele radiale la scurtcircuit nu pun probleme, deoarece interacţiunea dintre această înfăşurare şi cele două bobinaje de joasă tensiune se neutralizează datorită simetriei.

Avînd în vedere că modul de soluţionare a părţii termice conduce, în final, la obţinerea unor performanţe superioare, în varianta criorezistivă se poate afirma că partea termică a transformatorului prezintă o maximă importanţă. Chiar şi la transformatoarele obişnuite se poate observa că problemele de dimensionare electromagnetică sînt tributare restricţiilor de ordin termic, această concluzie fiind mai evidentă şi mai sugestivă prin luarea în consideraţie a condiţiilor criorezistive.

Suprafeţele laterale ale înfăşurărilor generează un flux termic care este transmis fluidului criogenic conform relaţiei:

$$dq = K(T - \theta) \, dA, \tag{8}$$

în care q este cantitatea de căldură generată prin efect Joule-Lenz în înfăşurări, (W); T — temperatura absolută a înfăşurării (K); θ — temperatura de fierbere a fluidului criogenic (pentru N_2, 77 K); A — suprafaţa laterală de cedare a căldurii (m^2); K — coeficient global de cedare a căldurii între înfăşurare şi mediul criogenic $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$. Fluxul termic convectiv este influenţat de diferenţa de temperatură de saturaţie a lichidului, la care se produce fierberea şi temperatura peretelui. S-a demonstrat, prin încercări experimentale, că această diferenţă de temperatură determină efectiv natura procesului de fierbere. Dependenţa fluxului termic q de diferenţa de temperatură ΔT este dată de diagrama lui Shiro Nukiyama, obţinută pe cale experimentală. O atenţie deosebită trebuie acordată fenomenului de răcire în sensul evitării fazei de „vapori umezi" în mediul criogenic, fapt care provoacă modificări necontrolabile în procesele termice şi, deci, scăderea considerabilă a capacităţii de transport a căldurii [6].

Dacă filmul lichid dispare, coeficientul de schimb de căldură cu un gaz fiind mai nefavorabil, rezultă o creştere prohibitivă a temperaturii peretelui, adică, în acest caz, a conductoarelor. Dispariţia acestui film lichid poate fi datorată mai multor fenomene: fie trecerea de la fierberea nucleată la fierberea în film (calefacţia), fie o simplă lipsă a lichidului, filmul prea subţire rupîndu-se într-un loc şi, ca urmare a căldurii care trebuie evacuată, această ruptură să fie ireversibilă [7].

Fierberea se va plasa în prima zonă, cea convectivă, în care lichidul se evaporă, evaporarea liberă utilizînd relaţii criteriale cunoscute şi sigure. Mişcarea fluidului în cazul convecţiei libere (naturale) este determinată de forţe ascensionale, de tip arhimedic, generate de neuniformitatea cîmpului de temperaturi. Vitezele de mişcare sînt foarte mici, ceea ce face ca criteriul Reynolds să fie dominant în convecţia liberă. În schimb, apare ca dominant criteriul Grasshoff, care conţine diferenţa de temperatură ΔT, cauza mişcării.

Relaţia criterială adecvată pentru convecţia liberă este în acest caz:

$$N_n = c \, (G_r P_r)^n K, \tag{9}$$

în care G_r, P_r reprezintă două criterii de similitudine (Grasshoff respectiv Prandtl) care au următoarele expresii [8, p. 172]

$$G_r = \frac{g \beta d^3 (t_p - t_f)}{\nu^2}, \tag{10}$$

în care: g este acceleraţia gravitaţională, $9{,}81 \frac{m}{s^2}$;

$\beta = \frac{1}{T_f}$; T_f — temperatura absolută a fluidului (77°K pentru azot lichid);

$t_p - t_f = \Delta T$ — diferenţa de temperatură dintre perete şi lichidul criogenic ($\Delta T = 1{,}5$ K — valoare arbitrară, iniţială, cu care se poate lucra în zona fierberii convective);

ν — viscozitatea cinematică a fluidului, $\left(\nu = 0{,}95 \cdot 10^{-9} \frac{m^2}{s}\right.$ în cazul azotului lichid$\left.\right)$;

d — diametrul corpului solid, m;

$$P_r = \mu \frac{c_p}{\lambda}$$

în care:

c_p este căldura specifică a fluidului (în cazul azotului lichid $c_p = 2\,030$ J/kg K);

λ — coeficientul de conductibilitate termică a lichidului $\left(\lambda = 0{,}135 \frac{W}{mK}\right.$, în cazul azotului lichid$\left.\right)$;

μ — viscozitatea dinamică $\left(\mu = 0{,}768 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{ms}\right.$, în cazul azotului lichid$\left.\right)$.

În expresia (9), c este o constantă care, în cazul corpurilor cilindrice cu diametrul mare, are următoarele valori:

$c_1 = 0{,}0246$, pentru convecția turbulentă;

$c = 0{,}8$, pentru convecția laminară;

n este un indice cu următoarele valori: $\frac{2}{5}$ pentru convecția turbulentă; $\frac{1}{4}$ pentru convecția laminară;

K — o funcție de corecție adimensională având următoarele expresii:

— pentru convecția turbulentă:

$$K = \left[\frac{P_r^{\frac{1}{6}}}{1 + 0{,}494\, P_r^{\frac{2}{3}}}\right]^{\frac{2}{5}}, \qquad (12)$$

— pentru convecția liberă:

$$K = \left[1 + \left(1 + \frac{1}{\sqrt{P_r}}\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{-\frac{1}{4}}, \qquad (12')$$

N_n este numărul lui Nusselt având expresia:

$$N_n = \frac{\alpha d}{\lambda}.$$

Pentru calcul mai sînt necesare unele precizări:

— la curgerea laminară $10^4 c\, G_r\, P_r < 10^9$;

— la convecția turbulentă $G_r\, P_r > 10^9$.

În cazul criotransformatorului de 630 kVA, 6/0,4 kV curgerea s-a dovedit a fi, prin calcule, turbulentă. Prin înlocuiri în (9) valoarea lui α pentru bobina de înaltă tensiune este $\alpha_1 = 2\,679 \frac{W}{m^2K}$. Înlocuind în expresia:

$$q = \alpha(t_p - t_f) = \alpha \Delta T_1',$$

rezultă:

$$\Delta T_1' = 0{,}25\text{K}.$$

Deoarece valoarea presupusă inițial a lui ΔT de 1,5° K este mult mai mare decît $\Delta T_1'$, calculul se va relua luînd, de această dată, $\Delta T = \Delta T_1$ caz în care rezultă $\alpha_1'' = 1\,308 \frac{W}{m^2K}$ și $\Delta T_1'' = 0{,}5$ K. Procesul iterativ pretabil realizării calculului cu calculatorul numeric poate continua în funcție de abaterea:

$$\delta = \Delta T_1^n - \Delta T_{1n}^{-n-1},$$

care se propune a fi luată în considerație. În acest caz $\Delta T_1^n = 0{,}4$K, iar $\alpha_1^n = 1\,600 \frac{W}{m^2K}$.

Se remarcă faptul că ΔT, considerat în relația (10), poate lua orice valoare din zona fierberii convective a diagramei lui Shiro Nukiyama, singura fierbere descrisă corect de relația criterială (9), în urma iterațiilor rezultînd o aceeași valoare limită. În figura 2 este reprezentat

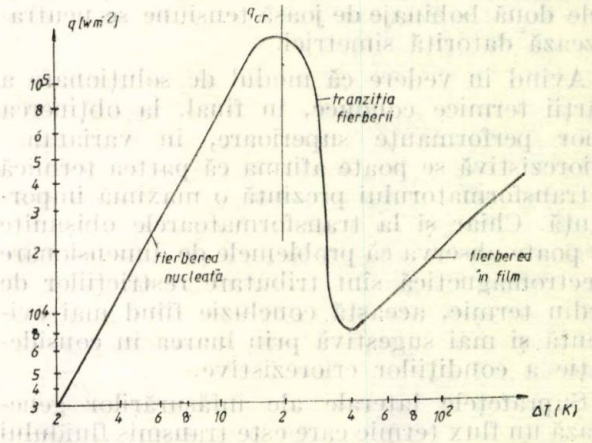


Fig. 2. Transferul de căldură la fierberea azotului lichid.

transferul de căldură la fierberea azotului lichid [3, p 386]. Prin extrapolare, avînd în vedere că în diagrama lui Shiro Nukiyama este reprezentată fierberea, începînd de la cea nucleată corespunzător unui flux de căldură $q_1 = 657 \frac{W}{m^2}$ se obține: $\Delta T = 0{,}4$K.

Rezultă:

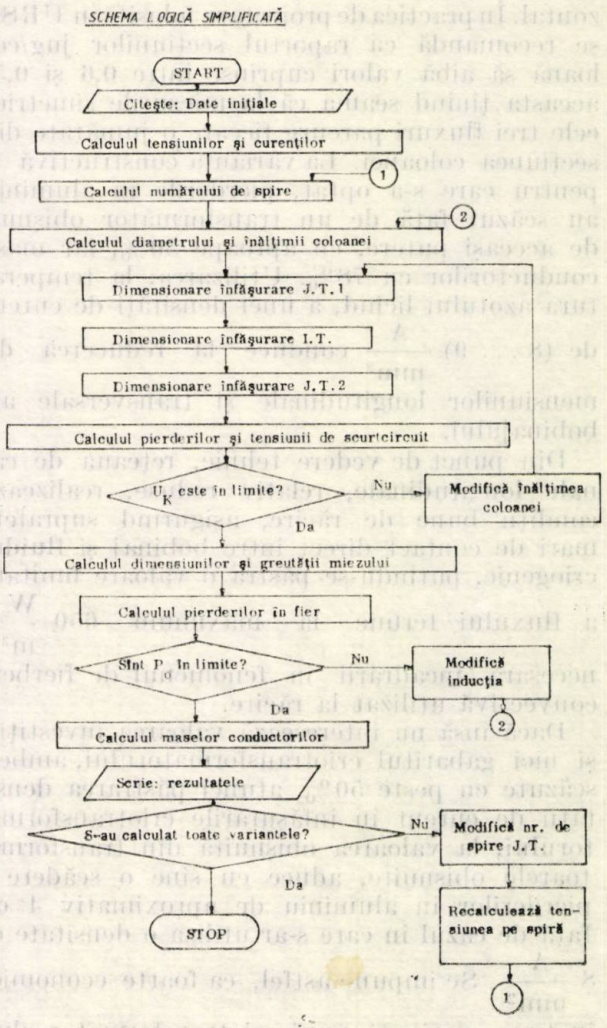
$$\alpha = \frac{q_1}{\Delta T} = \frac{657}{0{,}4} = 1642{,}5 \frac{W}{m^2K}.$$

În acest fel se obține verificarea experimentală a metodei analitice expuse mai jos (aceasta întrucît diagrama lui Nukiyama este obținută experimental).

3. Proiectarea cu ajutorul calculatorului electronic

Proiectarea criotransformatorului de 630 kVA, 6/0,4 kV s-a făcut cu calculatorul electronic folosindu-se limbajul FORTRAN IV. Relaţiile folosite în calculul electronic sînt, în general, cele utilizate în proiectarea clasică. Schema logică simplificată este arătată în continuare.

În cadrul subprogramelor de dimensionare a fiecărei înfăşurări se calculează şi pierderile în conductoare, redimensionarea terminîndu-se cînd pierderile iau valorile aflate în limitele impuse. Calculul unei singure variante durează, pe calculator, mai puţin de 5 minute.



4. Consideraţii tehnico-economice

Analizînd cu atenţie tabelul 1, corespunzător primei variante, la un diametru al coloanei $DC = 174$ mm, prin reducerea cu 46% a masei miezului faţă de cea a unui transformator convenţional, pierderile în fier au scăzut cu 49%.

Performanţe mai bune se obţin în cazul criotransformatorului cu miez simetric şi tensiuni joase folosind folie de aluminiu, la care pierderile în fier scad cu 17% faţă de criotransformatorul cu miez obişnuit. Avînd însă în vedere lipsa, deocamdată, a unor tehnologii corespunzătoare la îmbinările jug-coloană, avantajele oferite de micşorarea secţiunii jugului nu pot ieşi în evidenţă. Se menţionează faptul că jugurile miezurilor simetrice se confecţionează prin înfăşurare, pe un şablon metalic, dintr-o tolă de o singură lăţime, pe maşini de tip ori-

Tabelul 1

Variante constructive ale criotransformatorului rezistiv

Varianta constructivă	DC, cm	P_0, W	P_k, W	U_k, %	G_{FE}, kg	G_{Al}, kg	η_N, %	η_{max}, %
1. Criotrafo cu miez clasic şi j.t. din folie de Al	17,4	659,31	4 973	3,81	450	47,4	99,114	99,79
	18	700,14	5 200	3,83	480	42,6	99,072	99,778
	16,8	663,76	4 966	3,79	447	53,8	99,114	99,789
2. Criotrafo cu miez clasic şi j.t. de tip Brush	17,4	659,31	5 043	3,81	450	48,7	99,103	99,79
	18	714,09	5 051	3,76	488	45,5	99,09	99,77
	16,8	627,66	5 312	4,23	424	51,3	99,066	99,8
3. Crictrafo cu miez simetric şi j.t. din folie de Al	17,4	549,4	4 973	3,81	417	47,4	99,13	99,825
4. Criotrafo cu miez simetric şi j.t. de tip Brush	17,4	549,4	5 043	3,81	417	48,7	99,12	99,825
5. Trafo cu miez clasic în ulei cu j.t. din folie de Al		1300	6 900	6	836	219,5	98,715	99,588

zontal. În practica de proiectare folosită în URSS se recomandă ca raportul secțiunilor jug/coloană să aibă valori cuprinse între 0,6 și 0,5, aceasta ținînd seama că la miezurile simetrice cele trei fluxuri parcurg fiecare o jumătate din secțiunea coloanei. La varianta constructivă 1, pentru care s-a optat, pierderile în aluminiu au scăzut față de un transformator obișnuit de aceeași putere, cu aproape 30%, iar masa conductorilor cu 78%. Utilizarea, la temperatura azotului lichid, a unei densități de curent de (8 ... 9) $\frac{A}{mm^2}$ conduce la reducerea dimensiunilor longitudinale și transversale ale bobinajului.

Din punct de vedere tehnic, rețeaua de canale longitudinale, relativ reduse, realizează condiții bune de răcire, asigurînd suprafețe mari de contact direct între bobinaj și fluidul criogenic, putîndu-se păstra o valoare limitată a fluxului termic la maximum 650 $\frac{W}{m^2}$, necesară încadrării în fenomenul de fierbere convectivă utilizat la răcire.

Dacă însă nu interesează valoarea investiției și nici gabaritul criotransformatorului, ambele scăzute cu peste 50%, atunci păstrarea densității de curent în înfășurările criotransformatorului, la valoarea obișnuită din transformatoarele obișnuite, aduce cu sine o scădere a pierderilor în aluminiu de aproximativ 4 ori față de cazul în care s-ar utiliza o densitate de 8 $\frac{A}{mm^2}$. Se impune astfel, ca foarte economică în timp, varianta unui criotransformator obținut dintr-un transformator convențional (varianta 5), care în loc de ulei folosește, ca mediu de răcire, azotul lichid. De menționat că această soluție rezolvă și problema eforturilor unitare, fapt ce permite creșterea puterii transformatoarelor la valori de ordinul cîtorva MVA.

Trebuie precizat că soluția realizării de criotransformatoare cu azot lichid este economică dacă, efectiv, azotul (aerul) lichid nu se produce *special numai în scopul răcirii criotransformatoarelor*. De aceea această soluție este economică numai dacă criotransformatorul funcționează la *beneficiari care folosesc azotul lichid în propriile procese tehnologice* (de exemplu, la combinatele chimice)

Bibliografie

[1] *Bronicwski, B.* Une étape dans la conception de la machine électrique : la cryomachine. In : RGE No. 6, iunie 1965, p. 530 ... 532.

[2] * * Aluminium foil transformer. Catalogul Powels Belgium, 1979.

[3] *Arkharov, A., Mikulin, Ye.* Theory and desing of criogenic systems. Mir Publishers, Moscova, 1981.

[4] *Bulgacov, M. I.* Calculul transformatoarelor, București, Ed. tehnică, traducere din lb. rusă, 1951.

[5] *Gheorghiu, I. S., Fransua, A. S.* Tratat de mașini electrice. **Vol. II**, București, Ed. Academiei R.S.R., 1970.

[6] *Pușcașu, S., Isar, I.* Aspecte constructive ale cablurilor electrice criogenice. In : Electrotehnica, electronica și automatica, nr. 6, 1977, p. 305–311.

[7] *Carbonell, E. A., De la Harpe.* La production, la conservation et l'utilisation des basses températures dans les cryomachines électriques. In : RGE, No. 7 ... 8, iulie–august 1965, p. 611 ... 622.

[8] *Petrescu, S.* ș.a. Termotehnică și mașini termice, București, Ed. didactică și pedagogică, 1978.

[9] *Richter, R.* Mașini electrice. **Vol. III**, București, Ed. tehnică, trad. din l. germană, 1960.

CZ 621.319.5:538.567

OSCILOMOTOR ELECTRODINAMIC
MODELARE ANALITICĂ

Modelarea analitică și analiza unui oscilomotor electrodinamic, prin relații intrare-ieșire

SILVIU DARIE, TIBERIU COLOȘI, HORIA BĂLAN* — CLUJ-NAPOCA

În continuarea activității de proiectare, executare, punere în funcțiune și livrare către beneficiari a unui set de oscilomotoare de tip electromagnetic, prezenta lucrare este orientată spre studiul unor oscilomotoare electrodinamice, construite, experimentate și puse recent în exploatare industrială.

Principiul de funcționare a unui astfel de oscilomotor se poate urmări în figura 1. Mișcarea oscilatorie a mesei *4* rezultă urmare interacțiunii dintre curentul sinusoidal în raport cu timpul din bobina *3*, dispusă în întrefierul inelar al circuitului magnetic *1* și cîmpul magnetic constant generat de înfășurarea *2*, alimentată în curent continuu. Masa *4*, avînd fixată rigid bobina mobilă *3*, este suspendată elastic, prin intermediul arcurilor *5*, de cadrul imobil *1* al echipamentului, ceea ce permite mișcarea axială oscilatorie, și verticală a acesteia.

Se poate arăta că forța elementară $\overline{df}$ dezvoltată de oscilomotor, pe lungimea elementară $\overline{dl}$ a unei spire din înfășurarea *3*, parcursă de curentul $\bar{i}$, în interacțiune cu inducția magnetică $\bar{B}$, constantă și normală pe $\bar{i}$, rezultă din produsul vectorial :

$$\overline{df} = i(\overline{dl} \times \bar{B}). \qquad (1)$$

* Conf. dr. ing. *Darie, S.*, prof. dr. ing. *Coloși, T.*, ing. *Bălan, H.* — Institutul politehnic Cluj-Napoca, Facultatea de electrotehnică.

Dacă $\overline{i(t)}$ prezintă o evoluție sinusoidală, atunci $\overline{df}$ va acționa asupra bobinei *3*, pe verticală, tot sub formă oscilatorie, frecvența oscilațiilor mecanice generate putîndu-se încadra în limitele (0—15) kHz.

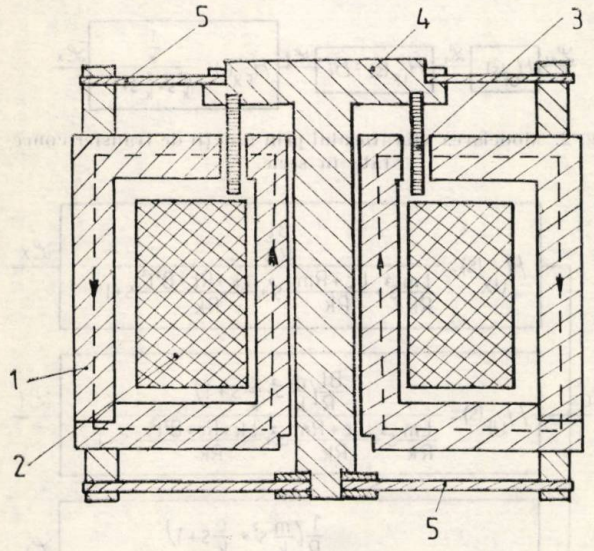


Fig. 1. Schema de principiu a vibratorului electrodinamic : *1* — circuitul magnetic ; *2* — bobina fixă (de magnetizare) ; *3* — bobina mobilă ; *4* — masă mobilă ; *5* — sistem elastic.

1. Modelarea analitică a oscilomotorului

Într-o formă simplificată, oscilomotorul poate fi definit prin sistemul de ecuații diferențiale, cu coeficienți constanți :

$$u = Ri + L \cdot \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + B \cdot l \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, \tag{2}$$

$$m \cdot \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + c \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} + k \cdot x = f, \tag{3}$$

$$f = B \cdot l \cdot i, \tag{4}$$

unde :

— ecuația (2) reprezintă echilibrul în tensiuni din circuitul bobinei mobile *3*, alimentată la tensiunea u, cu parametrii electrici R și L, avînd forța electromotoare indusă $Blv = b \cdot l \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ (cu precizarea că $v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ este viteza axială, pe verticală, a acestei bobine);

— ecuația (3) evidențiază echilibrul în forțe, cu cele trei componente : de accelerare — decelerare a masei m (formată din *3*, *4* și masa destinată testării la vibrații), de frecare vîscoasă cu aerul (aproximată a fi proporțională cu viteza, prin coeficientul de proporționalitate c) și de elasticitate a arcurilor *5* (dependentă aproximativ liniar de deplasarea x, prin coeficientul de proporționalitate k) ;

— ecuația (4) exprimă dependența liniară a forței f, de inducția constantă B din întrefier, de lungimea activă totală a bobinei mobile 3 și de curentul i care parcurge această bobină.

În ecuația (3) s-a neglijat greutatea masei plasate pe platan, destinată testării prin vibrații, deoarece valoarea acesteia este neglijabilă în raport cu cele trei componente din membrul stîng al acestei ecuații. Greutatea proprie a echipajului mobil, fiind compensată elastic, nu este inclusă în această ecuație.

Sub forma simplificată prezentată în (2), (3) și (4), oscilomotorul se comportă ca un element liniar, invariant în timp, avînd un singur semnal de intrare, tensiunea $u = (u)t$ și trei semnale de ieșire, respectiv curentul $i = i(t)$, forța $f = f(t)$ și deplasarea echipajului mobil $x = x(t)$.

2. Modelarea oscilomotorului prin funcții de transfer

Aplicînd transformata Laplace, pentru condiții inițiale nule, sistemului de ecuații (2), (3) și (4), adică :

$$\mathfrak{L}u = (R + Ls)\,\mathfrak{L}i + B \cdot l \cdot s \cdot \mathfrak{L}x, \tag{6}$$

$$(ms^2 + cs + k)\,\mathfrak{L}x = \mathfrak{L}f, \tag{7}$$

$$\mathfrak{L}f = Bl\,\mathfrak{L}i, \tag{8}$$

se pot obține următoarele trei funcții de transfer :

$$H_{UI}(s) = \frac{\mathfrak{L}i}{\mathfrak{L}u} = K_{UI} \cdot \frac{B_2s^2 + B_1s + 1}{A_3s^3 + A_2s^2 + A_1s + 1}, \tag{9}$$

$$H_{UF}(s) = \frac{\mathfrak{L}f}{\mathfrak{L}u} = K_{UF} \cdot \frac{C_2s^2 + C_1s + 1}{A_3s^3 + A_2s^2 + A_1s + 1} \tag{10}$$

$$H_{UX}(s) = \frac{\mathfrak{L}x}{\mathfrak{L}u} = K_{UX} \cdot \frac{1}{A_3s^3 + A_2s^2 + A_1s + 1}, \tag{11}$$

unde :

$$A_1 = \frac{Lk + Rc + B^2l^2}{Rk} = \frac{L}{R} + \frac{c}{k} + \frac{B^2l^2}{Rk}, \tag{12}$$

$$A_2 = \frac{Lc + Rm}{Rk}, \tag{13}$$

$$A_3 = \frac{Lm}{Rk}, \tag{14}$$

$$K_{UI} = \frac{1}{R}, \tag{15}$$

$$B_1 = C_1 = \frac{c}{k}, \tag{16}$$

$$B_2 = C_2 = \frac{m}{k}, \tag{17}$$

$$K_{UF} = \frac{Bl}{R}, \tag{18}$$

$$K_{UX} = \frac{Bl}{Rk}. \tag{19}$$

Pentru un oscilomotor recent proiectat și realizat practic, corespund valorile :

$m = 12$ kg, $c = 1$ Ns/m, $L = 30 \cdot 10^{-3}$ H,

$R = 2{,}8\Omega$, $B = 1$ T,

$l = 129{,}4$ m și $k = 273 \cdot 10^3$ N/m,

pentru care rezultă :

$$A_1 = 32{,}623181 \cdot 10^{-3}, \tag{20}$$

$$A_2 = 43{,}9952 \cdot 10^{-6} \tag{21}$$

$$A_3 = 0{,}4709576 \cdot 10^{-6}, \tag{22}$$

$$K_{UI} \cong 0{,}3571428, \tag{23}$$

$$B_1 = C_1 = 3{,}663 \cdot 10^{-6}, \tag{24}$$

$$B_2 = C_2 = 43{,}956 \cdot 10^{-6} \tag{25}$$

$$K_{UF} = 46{,}214285, \tag{26}$$

$$K_{UX} = 0{,}169283 \cdot 10^{-3}. \tag{27}$$

Cu aceste valori, funcțiile de transfer de mai sus devin (coeficienții se rotunjesc la miimi) :

$$H_{UI}(s) = \frac{\mathcal{L}i}{\mathcal{L}u} = 0{,}357 \cdot$$

$$\cdot \frac{43{,}956 \cdot 10^{-6}s^2 + 3{,}663 \cdot 10^{-6}\,s + 1}{0{,}471 \cdot 10^{-6}s^3 + 43{,}995 \cdot 10^{-6}s^2 + 32{,}623 \cdot 10^{-3}s + 1} \tag{28}$$

$$H_{UF}(s) = \frac{\mathcal{L}f}{\mathcal{L}u} = 46{,}214 \cdot$$

$$\cdot \frac{43{,}956 \cdot 10^{-6}s^2 + 3{,}663 \cdot 10^{-6}s + 1}{0{,}471 \cdot 10^{-6}s^3 + 43{,}995 \cdot 10^{-6}s^2 + 32{,}623 \cdot 10^{-3}s + 1} \tag{29}$$

$$H_{UX}(s) = \frac{\mathcal{L}x}{\mathcal{L}u} = 0{,}169 \cdot 10^{-3} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{0{,}471 \cdot 10^{-6}s^3 + 43{,}995 \cdot 10^{-6}s^2 + 32{,}623 \cdot 10^{-3}s + 1} \cdot \tag{30}$$

Din sistemul de ecuații (6), (7) și (8), precum și din rezultatele de calcul care au urmat se constată posibilitatea modelării oscilomotorului, prin funcții de transfer, în trei variante de conexiuni : în serie (fig. 2), în paralel (fig. 3) și cu reacție negativă (fig. 4).

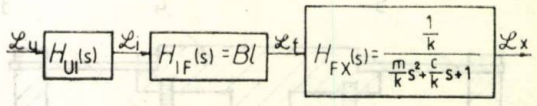


Fig. 2. Modelarea vibratorului prin funcții de transfer conectate în serie.

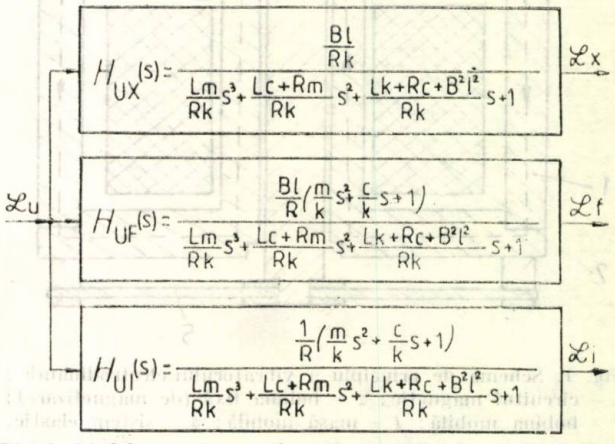


Fig. 3. Modelarea vibratorului prin funcții de transfer conectate în paralel.

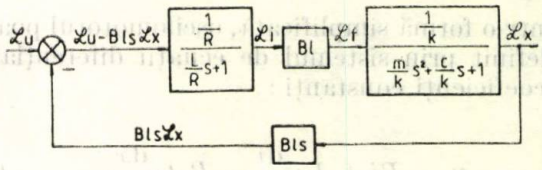


Fig. 4. Modelarea vibratorului prin funcții de transfer cu reacție negativă.

Prima variantă (fig. 2) indică succesiunea cauză-efect în timp ($\mathcal{L}u \rightarrow \mathcal{L}i \rightarrow \mathcal{L}f \rightarrow \mathcal{L}x$); a doua variantă (fig. 3) permite stabilirea directă a dependenței semnalelor de curent, forță și deplasare, față de tensiunea de alimentare a bobinei mobile (care se consideră semnal de intrare), iar a treia variantă (fig. 4), obținută direct din (6), (7) și (8), evidențiază însăși structura oscilomotorului. În acest ultim caz, semnalul de reacție negativă $Bls\mathcal{L}x$ reprezintă transformata Laplace a tensiunii contraelectromotoare (indusă în bobina mobilă și proporțională cu viteza axială a acesteia), care se scade din transformata Laplace a tensiunii de intrare $\mathcal{L}u$. Pe circuitul direct există trei elemente proporționale (primul de ordinul 1, următorul neinerțial, al treilea de ordinul 2), iar pe circuitul de reacție apare un element derivativ. Rezultă astfel o asemănare formală cu schema-bloc a motorului de curent continuu, comandat pe indus și cu flux de excitație constant.

Deoarece expresiile funcțiilor echivalente de transfer din figura 3 posedă același numitor, respectiv ecuația caracteristică :

$$\frac{Lm}{Rk} \cdot s^3 + \frac{Lc + Rm}{Rk} s^2 + \frac{Lk + Re + B^2 l^2}{Rk} s + 1 = 0, \quad (31)$$

este comună celor trei ieșiri, rezultă că soluțiile acestei ecuații condiționează comportarea aperiodică sau periodică, amortizată în raport cu timpul, a răspunsului liber.

Pentru cazul oscilomotorului, proiectat și realizat practic, avînd funcțiile de transfer (28), (29) și (30) și ecuația caracteristică :

$$0{,}471 \cdot 10^{-6} s^3 + 43{,}995 \cdot 10^{-6} s^2 + 32{,}623 \cdot 10^{-3} s + 1 = 0, \quad (32)$$

corespund polii (valorile s-au rotunjit la miimi) :

$$s_1 = -31{,}542 = -\alpha, \quad (33)$$

$$s_2 = -30{,}933 + j \cdot 257{,}595 = -\beta + j\gamma, \quad (34)$$

$$s_3 = -30{,}933 - j \cdot 257{,}595 = -\beta - j\gamma. \quad (35)$$

Pe baza acestor date, ecuația caracteristică permite stabilirea unor parametri semnificativi, care definesc oscilomotorul după cum urmează :

forma :

$$A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + 1 = 0, \quad (36)$$

mai poate fi scrisă :

$$s^3 + \frac{A_2}{A_3} \cdot s^2 + \frac{A_1}{A_3} \cdot s + \frac{1}{A_3} = (s - s_1)(s - s_2)(s - s_3) =$$

$$= (s - s_1)\left[s^2 - (s_2 + s_3)\, s + s_2 s_3\right] =$$

$$= (s + \alpha)(s^2 + 2\varphi\omega_n s + \omega_n^2) =$$

$$= \alpha\left(\frac{1}{\alpha} \cdot s + 1\right)(s^2 + 2\varphi\omega_n s + \omega_n^2) = 0, \quad (37)$$

din care, prin identificare, rezultă :

— constanta de timp :

$$T = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{31{,}542} \cong 0{,}0317 \text{ s}; \quad (38)$$

— pulsația naturală :

$$\omega_n = \sqrt{s_2 s_3} = \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} = \sqrt{30{,}933^2 + 257{,}595^2} = 259{,}445 \text{ rad/s}; \quad (39)$$

— factorul de amortizare :

$$\varphi = -\frac{s_2 + s_3}{2\omega_n} = -\frac{2\beta}{2\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} = \frac{30{,}933}{259{,}445} \cong 0{,}12. \quad (40)$$

Pentru numărătorul funcțiilor de transfer (28) și (29) se pot stabili, de asemenea, parametrii :

$$\omega_n' = 150{,}831 \text{ rad/s} \quad (41)$$

și :

$$\varphi' = 0{,}276 \cdot 10^{-3}. \quad (42)$$

Cu aceste date, se reprezintă grafic comportările asimptotice ale modulelor funcțiilor de transfer (28), (29) și (30), așa cum se arată în figura 5.

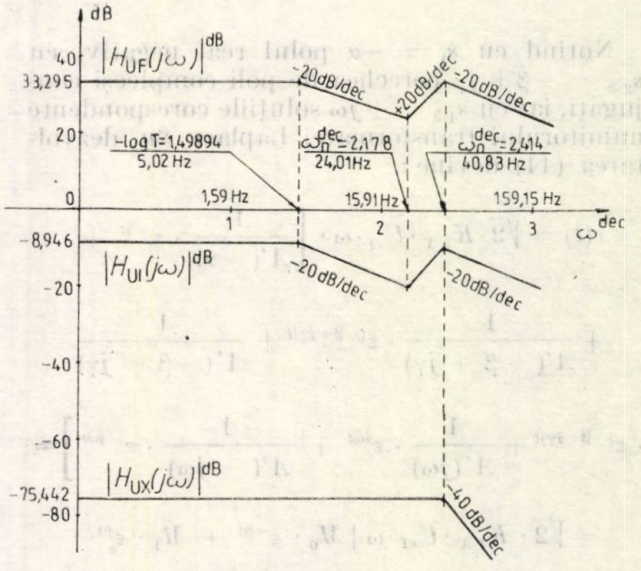


Fig. 5. Reprezentarea în planul logaritmic a modulelor funcțiilor de transfer : H_{UF}, H_{UI}, H_{UX}.

Se observă că $|H_{UX}(j\omega)|^{dB}$ se menține practic constant pînă la frecvența de 40,83 Hz, după care urmează o atenuare cu o pantă de (—40 dB/dec). Peste această frecvență se observă o atenuare de numai (—20 dB/dec) și pentru $|H_{UI}(j\omega)|^{dB}$, respectiv $|H_{UF}(j\omega)|^{dB}$, după ce, în prealabil, apare un ușor minim al acestor module la 24,01 Hz.

3. Răspunsul oscilomotorului la semnal armonic

Interesează răspunsul oscilomotorului $x(t)$, atunci cînd semnalul de intrare, respectiv ten-

siunea de alimentare a bobinei mobile are forma $u(t) = \sqrt{2}U_{ef} \cdot \sin \omega t$, respectiv :

$$\mathfrak{L}u(t) = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ef} \cdot \omega}{s^2 + \omega^2}. \qquad (43)$$

Ca urmare :

$$x(t) = \mathfrak{L}^{-1}\left[H_{UX}(s) \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ef} \cdot \omega}{s^2 + \omega^2} = \right.$$

$$= \sqrt{2} K_{UX} \cdot U_{ef} \cdot \omega \sum_{s=s_1}^{s_6} \left[\frac{1}{A'(s_i)} \cdot \varepsilon^{s_i t} \right],$$

unde, cu referire la (11) și (44) :

$$A'(s_i) = \left\{ \frac{d}{ds} [(A_3 s^3 + A_2 s^2 + \right.$$

$$\left. + A_1 s + 1)(s^2 + \omega^2)] \right\}_{s=s_i} \cdot \qquad (45)$$

Notînd cu $s_1 = -\alpha$ polul real negativ, cu $s_{2,3} = -\beta \pm j\gamma$ perechea de poli complecși conjugați, iar cu $s_{4,5} = \pm j\omega$ soluțiile corespondente numitorului transformatei Laplace $\mathfrak{L}u$, dezvoltarea (44) devine :

$$x(t) = \sqrt{2} \cdot K_{UX} \cdot U_{ef} \cdot \omega \cdot \left[\frac{1}{A'(-\alpha)} \cdot \varepsilon^{-\alpha t} + \right.$$

$$+ \frac{1}{A'(-\beta + j\gamma)} \cdot \varepsilon^{(-\beta + j\gamma)t} + \frac{1}{A'(-\beta - j\gamma)}$$

$$\left. \cdot \varepsilon^{(-\beta - j\gamma)t} + \frac{1}{A'(j\omega)} \cdot \varepsilon^{j\omega t} + \frac{1}{A'(-j\omega)} \cdot \varepsilon^{-j\omega t} \right] =$$

$$= \sqrt{2} \cdot K_{UX} \cdot U_{ef} \cdot \omega \, [M_0 \cdot \varepsilon^{-\alpha t} + M_1 \cdot \varepsilon^{j\mu_1} \cdot$$

$$\cdot \varepsilon^{(-\beta + j\gamma)t} + M_1 \cdot \varepsilon^{-j\mu_1} \cdot \varepsilon^{(-\beta - j\gamma)t} + M_2 \cdot \varepsilon^{j\mu_2} \cdot \varepsilon^{j\omega t} +$$

$$+ M_2 \cdot \varepsilon^{-j\mu_2} \cdot \varepsilon^{-j\omega t}] = \sqrt{2} K_{UX} \cdot U_{ef} \cdot$$

$$\cdot \omega \left[M_0 \cdot \varepsilon^{-\alpha t} + 2M_1 \cdot \varepsilon^{-\beta t} \cdot \frac{1}{2} (\varepsilon^{j(\gamma t + \mu_1)} + \varepsilon^{-j(\gamma t + \mu_1)}) + \right.$$

$$\left. + 2M_2 \cdot \frac{1}{2} (\varepsilon^{j(\omega t + \mu_2)} + \varepsilon^{-j(\omega t + \mu_2)}) \right] =$$

$$= \sqrt{2} K_{UX} \cdot U_{ef} \cdot \omega [M_0 \varepsilon^{-\alpha t} + 2M_1 \cdot \varepsilon^{-\beta t} \cdot$$

$$\cdot \cos(\gamma t + \mu_1) + 2M_2 \cos(\omega t + \mu_2)]. \qquad (46)$$

Deci se constată că răspunsul $x(t)$ la semnal armonic prezintă trei componente : primele două sînt componente tranzitorii, care se anulează aperiodic, respectiv periodic, în raport cu timpul, adică :

$$x_{tr}(t) = \sqrt{2} \cdot K_{UX} \cdot U_{ef} \cdot \omega [M_0 \cdot \varepsilon^{-\alpha t} +$$

$$+ 2M_1 \cdot \varepsilon^{-\beta t} \cdot \cos(\gamma t + \mu_1)], \qquad (47)$$

iar a treia este componenta staționară, periodică în raport cu timpul, avînd expresia :

$$x_{st}(t) = 2\sqrt{2} K_{UX} \cdot U_{ef} \cdot \omega \cdot M_2 \cdot \cos(\omega t + \mu_2). \qquad (48)$$

În relațiile de mai sus : $M_0 = \dfrac{1}{A'(-\alpha)}$,

$$2M_1 = \left| \frac{1}{A'(-\beta + j\gamma)} \right| = \left| \frac{1}{A'(-\beta - j\gamma)} \right|,$$

$$2M_2 = \left| \frac{1}{A'(j\omega)} \right| = \left| \frac{1}{A'(-j\omega)} \right|,$$

iar : $$\mu' = \operatorname{arc\,tg} \left(\frac{Im \dfrac{1}{A'(-\beta + j\gamma)}}{Re \dfrac{1}{A'(-\beta + j\gamma)}} \right)$$

și :

$$\mu_2 = \operatorname{arc\,tg} \left(\frac{Im \dfrac{1}{A'(j\omega)}}{Re \dfrac{1}{A'(j\omega)}} \right).$$

În cazul exemplului considerat, respectiv (28), (29) și (30), pentru care corespunde $s_1 = -\alpha = -31{,}542$, $s_{2,3} = -\beta \pm j\gamma = -30{,}933 \pm j\,257{,}595$, iar $U_{ef} = 62\text{V}$; $f = 50$ Hz ; $\omega = 2\pi f = 314 \dfrac{\text{rad}}{\text{s}}$, înlocuind în (46) se obține răspunsul la semnalul armonic :

$$x(t) = 10^{-3} [1{,}50 \cdot \varepsilon^{-31{,}542t} + 4{,}04 \cdot \varepsilon^{-30{,}933t} \cdot$$

$$\cdot \cos(257{,}595\ t - 2{,}692) +$$

$$+ 2{,}70 \cdot \cos(314\ t + 0{,}660).$$

După aplicarea semnalului de intrare $u(t) = \sqrt{2} \cdot 62 \cdot \sin 314\ t$ (pentru condiții inițiale nule), prima componentă tranzitorie din membrul drept se amortizează după circa 0,1 secunde, iar a doua componentă tranzitorie din membrul drept se amortizează în circa 0,25 secunde.

Componenta cosinusoidală staționară (a treia din membrul drept) posedă o amplitudine de 2,7 mm și un defazaj de circa 0,66 radiani (37,57 grade), valori foarte apropiate de cele măsurate practic pe acest oscilomotor.

$$f = Bli, \tag{50}$$

$$m\overset{(2)}{x} + c\overset{(1)}{x} + kx = f, \tag{51}$$

$$e = BL\overset{(1)}{x}, \tag{52}$$

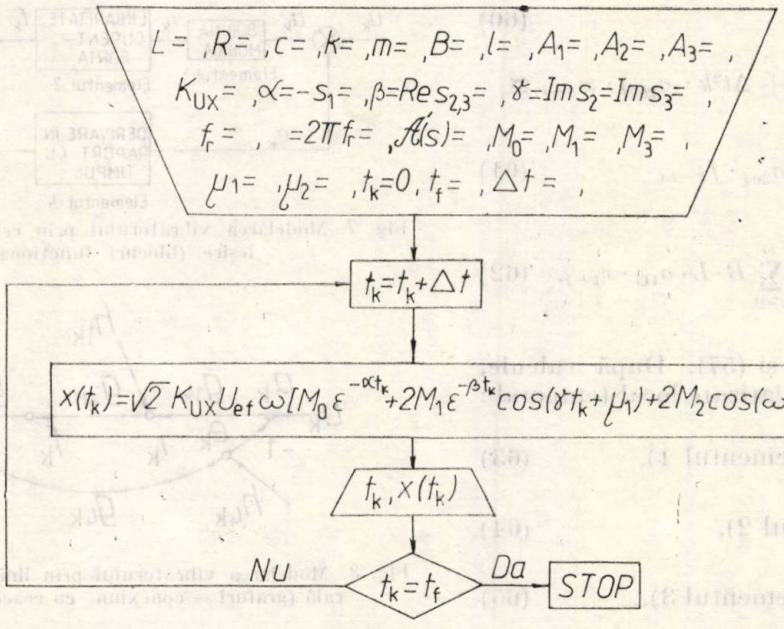


Fig. 6. Schema logică de calcul al răspunsului vibratorului (modelarea analitică).

Schema logică de calcul a răspunsului (48) este redată în figura 6 și necesită, pentru inițializarea programului, atît declararea valorii parametrilor de structură (L, R, ... 1), a formulelor de calcul pentru coeficienții A_1, A_2, A_3 și K_{UX}, a polilor s_1, s_2, s_3 etc., cît și precizarea timpului de start $t_k = 0$, a timpului final t_f și a pasului de scriere Δt, mai mic decît perioada $T = 1/f_r$ (f_r = frecvența) a semnalului cosinusoidal staționar de ieșire.

Formal identic se poate proceda și pentru calculul răspunsurilor $i(t)$ sau $f(t)$.

4. Modelarea numerică a oscilomotorului prin liniarizare local-temporală

Liniarizarea local-temporală a soluției ecuațiilor diferențiale, prezentată în [5 ... 8], permite și pentru cazul studiat, modelarea numerică a oscilomotorului într-o formă sistemică. Se urmărește definirea fiecărui element funcțional din structura oscilomotorului prin relații temporale de tip intrare-ieșire,precum și evidențierea unui formalism matematic unitar și intuitiv de analiză.

În acest scop sistemul de ecuații (2), (3), și (4) se transcrie sub forma (cifrele din parantezele de sus indică ordinul derivatelor în raport cu timpul):

$$a = Ri + L\overset{(1)}{i}, \tag{49}$$

$$a = u - e, \tag{53}$$

unde (52) reprezintă tensiunea contraelectromotoare e indusă în bobina mobilă, iar diferența (53) poate fi interpretată drept „abatere de tensiune".

Se integrează aceste ecuații diferențiale în eșantionul iterativ de timp $t_k \pm \delta t$ (pentru δt suficient de mic), iar ecuațiile algebrice se scriu în momentul t_k, respectiv:

$$\int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} a \cdot \mathrm{d}t = \int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (Ri + L\overset{(1)}{i})\,\mathrm{d}t, \tag{54}$$

$$f_k = B \cdot L \cdot i_k, \tag{55}$$

$$\iint_{t_k+\delta t}^{t_k+\delta t} (m\overset{(2)}{x} + c\overset{(1)}{x} + kx)\,\mathrm{d}t^2 = \iint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} f \cdot \mathrm{d}t^2, \tag{56}$$

$$a_k = u_k - e_k, \tag{57}$$

$$\int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} e \cdot \mathrm{d}t = \int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} B \cdot L \cdot \overset{(1)}{x} \cdot \mathrm{d}t. \tag{58}$$

Operînd cu formula generală de aproximare numerică a integralei repetate (de n ori) în raport cu timpul [7 ... 8],

$$\int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} \overset{n}{\cdots} \int F \cdot \overset{(p)}{v} \cdot \mathrm{d}t^n \cong \Delta t^{n-p} \cdot F \cdot \sum_{j=0}^{\omega} \sigma_{npj} \cdot V_{k-j}, \tag{59}$$

pentru F = constant, ecuațiile diferențiale mai sus-amintite devin :

$$\sum_{j=0}^{\omega} \Delta t \cdot \sigma_{10j} \cdot a_{k-j} \cong \sum_{j=0}^{\omega} (\Delta t \cdot R \cdot \sigma_{10j} + L_{11j}) \cdot i_{k-j}, \tag{60}$$

$$\sum_{j=0}^{\omega} (m\sigma_{22j} + \Delta tc \cdot \sigma_{21j} + \Delta t^2 k \cdot \sigma_{20j}) \cdot x_{k-j} \cong$$

$$\cong \sum_{j=0}^{\omega} \Delta t^2 \cdot \sigma_{20j} \cdot f_{k-j}, \tag{61}$$

$$\sum_{j=0}^{\omega} \Delta t \cdot \sigma_{10j} e_{k-j} \cong \sum_{j=0}^{\omega} B \cdot L \cdot \sigma_{11j} \cdot x_{k-j}, \tag{62}$$

la care se asociază (55) și (57). După calcule, se pot obține formele liniarizate local-temporal :

$$i_k = g_{1k} \cdot a_k + h_{1k} \text{ (elementul 1)}, \tag{63}$$

$$f_k = g_{2k} \cdot i_k \text{ (elementul 2)}, \tag{64}$$

$$x_k = g_{3k} \cdot f_k + h_{3k} \text{ (elementul 3)}, \tag{65}$$

$$e_k = g_{4k} \cdot x_k + h_{4k} \text{ (elementul 4)}, \tag{66}$$

$$a_k = u_k - e_k \text{ (elementul de comparație)}, \tag{67}$$

unde :

$$g_{1k} = \frac{\Delta t \cdot \sigma_{100}}{\Delta t \cdot R \cdot \sigma_{100} + L\sigma_{110}},$$

$$h_{1k} = \frac{\sum_{j=1}^{\omega} [\Delta t \cdot \sigma_{10j} \cdot a_{k-j} - \Delta t R \sigma_{10j} + L\sigma_{11j})] i_{k-j}}{\Delta t \cdot R \cdot \sigma_{100} + L \cdot \sigma_{110}},$$

$$g_{2k} = B \cdot L,$$

$$g_{3k} = \frac{\Delta t^2 \cdot \sigma_{200}}{m\sigma_{220} + \Delta t \cdot c \cdot \sigma_{210} + \Delta t^2 \cdot k \cdot \sigma_{200}},$$

$$h_{3k} = \frac{\sum_{j=1}^{\omega} [\Delta t^2 \cdot \sigma_{20j} f_{k-j} - (m\sigma_{22j} + \Delta t \cdot c\sigma_{21j} + \Delta t^2 \cdot k \cdot \sigma_{20j}) x_{k-j}]}{m\sigma_{220} + \Delta t \cdot c \cdot \sigma_{210} + \Delta t^2 \cdot k \cdot \sigma_{200}},$$

$$g_{4k} = \frac{B \cdot L \cdot \sigma_{110}}{\Delta t \cdot \sigma_{100}} \text{ și :}$$

$$h_{4k} = \frac{\sum_{j=1}^{\omega} (\sigma_{11j} x_{k-j} - \Delta t \cdot \sigma_{10j} \cdot r_{k-j})}{\Delta t \cdot \sigma_{100}}.$$

Din sistemul de ecuații cu diferențe finite (63) ... (67) rezultă direct schema-bloc din figura 7, precum și schema cu grafuri din figura 8, care modelează oscilomotorul prin relații de tip intrare-ieșire.

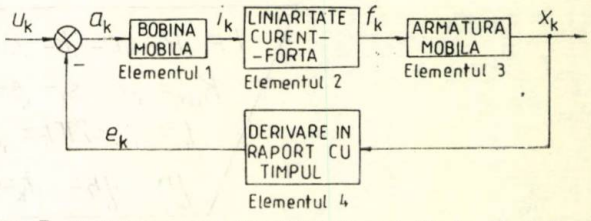


Fig. 7. Modelarea vibratorului prin relații de tip intrare-ieșire (blocuri funcționale).

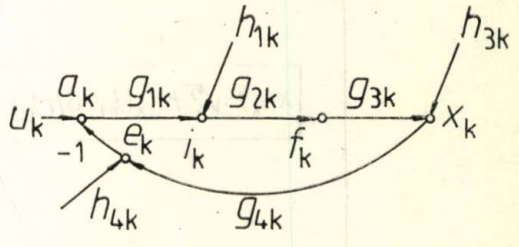


Fig. 8. Modelarea vibratorului prin liniarizare local-temporală (grafuri — conexiune cu reacție negativă).

Unul din multiplele avantaje ale liniarizării local-temporale a soluției ecuațiilor diferențiale constă în posibilitatea stabilirii unor valori echivalente, la diferite conexiuni, pentru coeficienții de transfer în momentul t_k, notați prin g_k și pentru răspunsurile libere în momentul t_k, notate cu h_k.

Pentru exemplul considerat rezultă, foarte simplu (se notează : $g_{12.k} = g_{1k} \cdot g_{2k}$, $g_{123k} = g_{1k} \cdot g_{2k} \cdot g_{3k}$ etc.) :

$$x_k = \frac{g_{123.k}}{1 + g_{1\,234.k}} \cdot u_k +$$

$$+ \frac{h_{3k} + g_{23k} \cdot h_{1k} - g_{123k} \cdot h_{4k}}{1 + g_{1\,234k}} = g_{UX_k} \cdot U_k + h_{UXK}, \tag{68}$$

$$f_k = \frac{g_{12k}}{1 + g_{1\,234k}} \cdot U_k +$$

$$+ \frac{g_{2k}h_{1k} - g_{12k} \cdot h_{4k} - g_{421k} \cdot h_{3k}}{1 + g_{1\,234k}} = g_{UFk} \cdot U_k + h_{UFk}, \tag{69}$$

$$i_k = \frac{g_{1k}}{1 + g_{1\,234k}} \cdot U_k -$$

$$- \frac{h_{1k} - g_{1k} \cdot h_{4k} - g_{41k} \cdot h_{3k}}{1 + g_{1\,234k}} = g_{UIK} \cdot U_k + h_{UIK}, \tag{70}$$

$$a_k = \frac{1}{1 + g_{1\,234k}} \cdot U_k - \frac{g_{234k} \cdot h_{1k} + g_{4k} \cdot h_{3k} + h_{4k}}{1 + g_{1\,234k}} = g_{UAk} \cdot U_k + h_{UAk}, \quad (71)$$

$$e_k = \frac{g_{1\,234k}}{1 + g_{1\,234k}} \cdot U_k + \frac{g_{234k} \cdot h_{1k} + g_{4k} \cdot h_{3k} + h_{4k}}{1 + g_{1\,234k}} = g_{UEk} \cdot U_k + h_{UEk}, \quad (72)$$

cu observația că s-au obținut astfel coeficienții de transfer echivalenți în momentul t_k și răspunsurile libere echivalente în momentul t_k, de la tensiunea de alimentare u a bobinei mobile, pe de o parte, la deplasarea x (respectiv g_{UXk} și h_{UXk}), la forța f (respectiv g_{UFk} și h_{UXk}) la curentul i al bobinei mobile (respectiv g_{UIk} și h_{UIk}) etc., pe de altă parte.

Calculul acestor coeficienți echivalenți (g și h) se bazează pe formalismul algebric uzual schemelor cu grafuri.

Ca urmare din (68), ... (72) se poate obține modelarea oscilomotorului prin grafuri conectate în paralel, așa cum se prezintă în figura 9, iar din (64), (65) și (70) același oscilomotor poate fi modelat prin grafuri conectate în serie, așa cum se exemplifică în figura 10.

Pentru acest ultim caz, din figura 10 rezultă direct :

$$f_k = g_{2k} \cdot g_{UIk} \cdot U_k + g_{2k} h_{UIk} = g_{UFk} \cdot U_k + h_{UFk}, \quad (73)$$

$$x_k = g_{1k} \cdot g_{2k} \cdot g_{UIk} \cdot U_k + g_{3k} \cdot g_{2k} \cdot h_{UIk} = g_{UX} \cdot U_k + h_{UXk}, \quad (74)$$

din care se obțin coeficienții echivalenți g_{UFk}, h_{UFk}, g_{UXk} și h_{UXk}, conducînd, în final, tot la expresiile din (68) și (69).

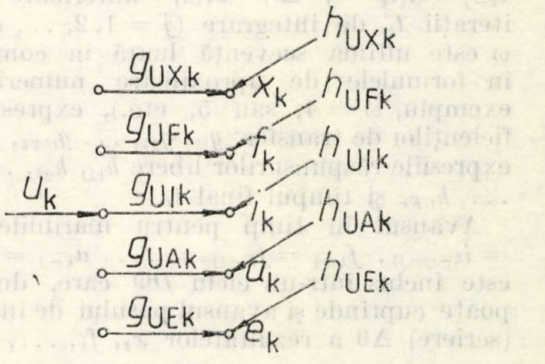


Fig. 9. Modelarea vibratorului prinl iniarizarea local—temporală (grafuri — conexiune în paralel).

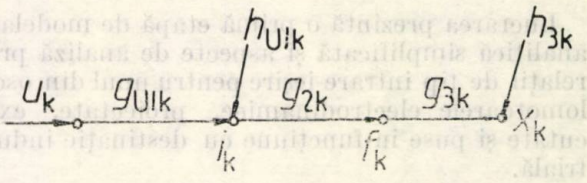


Fig. 10. Modelarea vibratorului cu liniarizare local—temporală (garfuri — conexiune în serie).

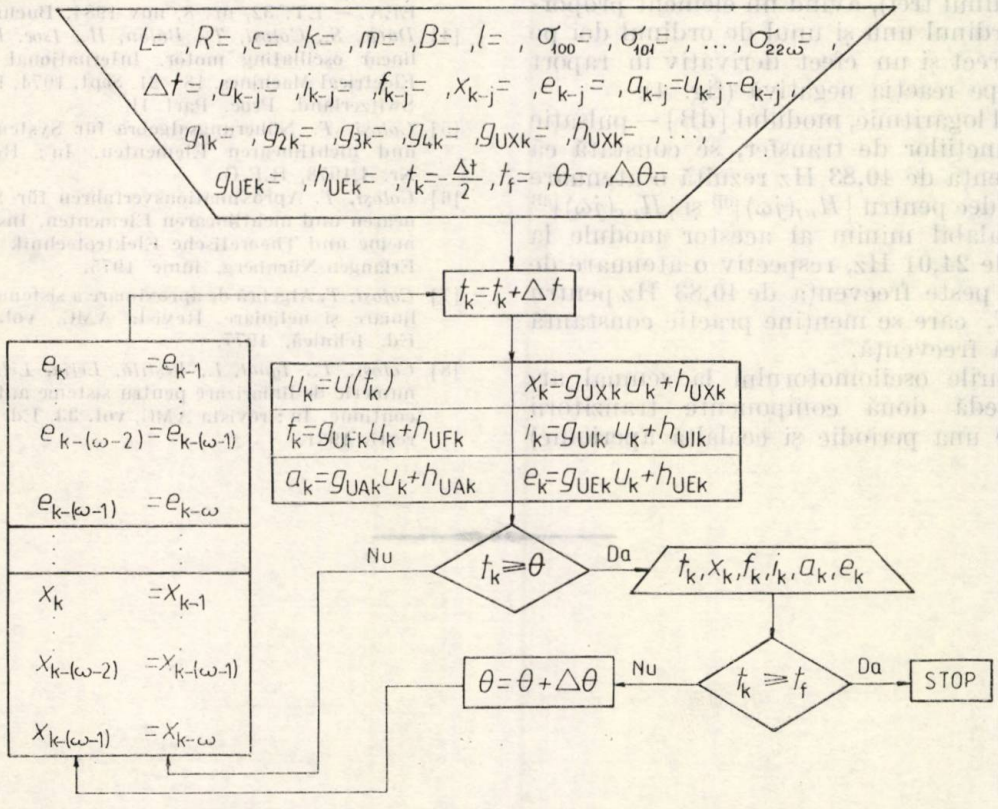


Fig. 11. Schema logică de calcul al răspunsului vibratorului (liniarizarea local—temporală).

Schema logică de calcul a răspunsurilor (68) ... (72) este arătată în figura 11.

Setul de instrucțiuni pentru inițializarea programului, cuprinde pe lîngă parametrii de structură L, R etc., și coeficienții de ponderare σ_{npj}(sub forma unor rapoarte de numere întregi), pasul de integrare $\Delta t = 2\delta t$ (care trebuie să fie circa o sutime din cea mai mică constantă de timp), valorile semnalelor $U_{k-j}=U(t_k-j\cdot\Delta t)$, $i_{k-j} = i(t_k - j\cdot\Delta t)$ etc., anterioare primei iterații t_k de integrare ($j = 1, 2, \ldots \omega$, unde ω este ultima secvență luată în considerație în formulele de aproximare numerică; de exemplu, $\omega = 4$, sau 5, etc.), expresiile coeficienților de transfer g_{1k}, g_{2k}, ... g_{UXk}, ... g_{UEk}, expresiile răspunsurilor libere h_{1l}, h_{2k}, ..., h_{UXk}, ..., h_{UEk} și timpul final t_f.

Avansul în timp pentru mărimile $i_{k-j} = i_{k-(j+1)}$, $f_{k-j} = f_{K-(j+1)}$, ..., $a_{k-j} = a_{k-(j+1)}$, este inclus într-un ciclu $D\Phi$ care, după caz, poate cuprinde și avansul pasului de imprimare (scriere) $\Delta\theta$ a rezultatelor x_k, f_k, ..., e_k.

5. Concluzii

Lucrarea prezintă o primă etapă de modelare analitică simplificată și aspecte de analiză prin relații de tip intrare-ieșire pentru unul din oscilomotoarele electrodinamice, proiectate, executate și puse în funcțiune cu destinație industrială.

Se constată că echipamentul este un sistem de ordinul trei (ecuația caracteristică în planul s fiind de ordinul trei), avînd un element proporțional de ordinul unu și unul de ordinul doi pe circuitul direct și un efect derivativ în raport cu timpul pe reacția negativă (fig. 4).

În planul logaritmic, modulul [dB] — pulsație [dec] al funcțiilor de transfer, se constată că peste frecvența de 40,83 Hz rezultă o atenuare de −20 dB/dec pentru $|H_{UI}(j\omega)|^{dB}$ și $|H_{UE}(j\omega)|^{dB}$ cu un prealabil minim al acestor module la frecvența de 24,01 Hz, respectiv o atenuare de 40 dB/dec, peste frecvența de 40,83 Hz pentru $|H_{UX}(j\omega)|^{dB}$, care se menține practic constantă sub această frecvență.

Răspunsurile oscilomotorului la semnal armonic posedă două componente tranzitorii (amortizate una periodic și cealaltă aperiodic) și o componentă staționară cosinusoidală de aceeași frecvență cu $u(t)$, dar defazată în urmă.

Modelarea numerică, liniarizată local-temporal a oscilomotorului, conduce la forme intuitive de reprezentare în timp, prin intermediul unor coeficienți de transfer în momentul t_k, notați cu g_k și al unor răspunsuri libere în momentul t_k notate cu h_k, ale căror expresii echivalente — pentru diferite conexiuni în serie, în paralel și cu reacție — stabilite prin intermediul grafurilor, favorizează un studiu sistemic simplu și unitar, ușor de implementat pe calculator.

Cele două scheme logice, asociate analizei prin funcții de transfer și liniarizare local-temporală, se remarcă, de asemenea, prin simplitate.

Pe baza acestor aspecte teoretice, urmează să fie prezentată și interpretată (într-un alt studiu) o serie de măsurători, performanțe și evoluții în timp ale unor semnale, completînd astfel problemele de modelare și analiză pentru un caz concret de oscilomotor cu aplicații industriale.

Bibliografie

[1] *Darie, S., Bălan, H.* Instalație pentru testarea la vibrații a echipamentelor. Partea I. Excitatoare de vibrații. Revista EEA — ET, **33**, nr. 1, ian 1985, p. 22.

[2] *Darie, S., Bălan, H.* Aplicații industriale și perspective de utilizare a instalațiilor de electrovibrare mecanice. Simpozion MEI, Galați, 1983.

[3] *Darie, S., Coloși, T., Bălan, H., Isoc, D.* Modelarea unui oscilomotor cu mișcare de translație prin intermediul unui procedeu numeric de liniarizare temporală. In : EEA, — ET, 32, nr. 8, nov 1984, București.

[4] *Darie, S., Coloși, T., Bălan, H., Isoc, D.* Control of a linear oscillating motor. International Conference on Electrical Machines. 18—21. Sept. 1974, L.M. Lausanne-Switzerland, Proc. Part II.

[5] *Coloși, T.* Näherungsalgebra für Systeme mit linearen und nichtlinearen Elementen. In : Regelungstechnik Nr. 4/1978, R.F.G.

[6] *Coloși, T.* Aproximationsverfahren für Systeme mit linearen und nichtlinearen Elementen. Institut für Allgemeine und Theoretische Elektrotechnik der Universität Erlangen-Nürnberg, iunie 1975.

[7] *Coloși, T.* Algebră de aproximare a sistemelor cu elemente liniare și neliniare. Revista AMC, **vol. 25**, București Ed. tehnică, 1977.

[8] *Coloși, T., Ignat, I., Feștilă, Lelia, Leția, I.* Procedeu numeric de liniarizare pentru sisteme automate neliniare continue. In : revista AMC, **vol. 33**. Ed. Tehnică, București, 1981.

CZ 621.3.012 :621.317.35

CIRCUITE ELECTRICE
PROGRAM DE CALCUL

PSACELN — Program de Simulare și Analiză a Circuitelor Electrice Liniare sau Neliniare

MIHAI IORDACHE, DRAGOȘ DORNESCU* — BUCUREȘTI

Introducere

În lucrare se prezintă un program original de simulare și analiză a circuitelor electrice cu un înalt grad de complexitate. Circuitele analizate pot fi liniare sau neliniare, reciproce sau nereciproce, conexe sau neconexe.

PSACELN analizează circuitele electrice atît în regim tranzitoriu, cît și în regim staționar. De asemenea, PSACELN calculează numeric orice mărime de transfer dintre oricare două porți ale circuitului studiat. Mărimile de excitație (t.e.m. ale surselor independente de tensiune și curenții surselor independente de curent) pot fi constante sau variabile în timp.

Dependențele de timp ale t.e.m. și curenților surselor independente de tensiune și respectiv de curent și caracteristicile elementelor neliniare de circuit se aproximează prin funcții continue liniarizate pe porțiuni.

PSACELN are la bază o metodă originală de analiză de tip tablou prezentată în [1, 8], iar pentru rezolvarea sistemelor algebrice neliniare utilizează fie algoritmul Newton-Raphson, fie algoritmul lui Katzenelson [1, 2, 8]. Acești doi algoritmi s-au dovedit, pînă în prezent, cei mai eficienți în analiza circuitelor electrice neliniare de mare complexitate [1, 2, 4, 3].

Circuitul analizat poate conține : rezistoare liniare sau neliniare controlate în tensiune (c.u.) sau în curent (c.c.), condensatoare liniare sau neliniare (c.u.), bobine liniare sau neliniare (c.i.), cuplate sau nu magnetic, toate cele patru tipuri de surse comandate diport, nulori, amplificatoare operaționale, giratoare, invertoare de curent sau de tensiune, surse independente de tensiune sau de curent constante sau variabile în timp și, în general, orice element multiport sau multipol de circuit care are o schemă echivalentă cu elemente de circuit dipolare și surse comandate.

În cazul cel mai general, cînd neliniaritatea circuitului studiat constă în ecuații cuplate sau elemente de circuit cuplate, acestea pot fi adesea aproximate prin combinații de un număr redus de funcții de o singură variabilă [3]. De fapt, din punct de vedere teoretic se poate apela la teorema lui Kolmogorov [3], care arată că orice funcție continuă multidimensională $f : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^n$ poate fi aproximată cu orice precizie dorită, peste orice compact din $\mathbb{R}^n$ printr-o combinație de funcții de numai o singură variabilă. De aici rezultă că orice circuit electric poate fi modelat, cu orice precizie impusă, cu elemente de circuit dipolare și surse comandate.

În [1] se arată că analiza oricărui circuit electric în regim tranzitoriu se reduce la analiza unui șir de circuite electrice rezistive prin înlocuirea fiecărui condensator și a fiecărei bobine printr-un model discret de circuit asociat cu un algoritm implicit de integrare. Răspunsul periodic permanent al circuitelor electrice în regim periodic nesinusoidal se poate obține prin integrarea ecuațiilor diferențiale corespunzătoare, pe o durată de timp mai lungă pînă cînd componentele tranzitorii se amortizează.

În cele ce urmează se va prezenta modul de utilizare a PSACELN.

1. Datele de intrare

PSACELN necesită următoarele cartele de date :

1. Prima cartelă de date se citește cu formatul : I8, 9I2, 3F17 · 10 și cuprinde următoarele mărimi :

— NPT — numărul pașilor în timp. Cînd se analizează circuite electrice de curent continu se ia $NPT = 1$;

— NEI — numărul inițial al surselor independente de tensiune (fără cele prin care se simulează bobinele) ;

— NJI — numărul inițial al surselor independente de curent (fără cele prin care se modelează condensatoarele) ;

— $ITMAX$ — numărul maxim prescris de iterații necesar algoritmului Newton-Raphson sau Katzenelson ;

— $ITIP$ — indicele care indică tipul regimului de funcționare a circuitului, ce urmează a fi analizat cu PSALCELN. Dacă $ITIP = 1$, regimul analizat este tranzitoriu, periodic permanent nesinusoidal sau circuitul studiat este rezistiv și conține surse independente variabile în timp. $ITIP = 0$, dacă circuitul analizat este un circuit de c.c. ;

— $INDTA$ — indici tip algoritm de rezolvare a sistemelor algebrice neliniare. $INDTA = 0$, indică utilizarea algoritmului Newton-

* Dr. ing. *Iordache, M.* — Institutul politehnic — București ; ing. *Dornescu, D.* — ICPTT — București

Raphson, iar $INDTA = 1$ a algoritmului lui Katzenelson;

— *INDAH* — indicele care precizează cînd utilizatorul dorește numai calculul matricei hibride H și al vectorului sursă S (vezi [1, 4]), sau cînd dorește calculul anumitor funcții de transfer între oricare două porți ale circuitului, pentru aceasta INDAN = 1. În rest se atribue $INDAH = 0$;

— *INDTIP* — indice tipărire. $INDTIP = 0$ semnifică faptul că mărimile de ieșire se reprezintă grafic. PSACELN permite reprezentarea grafică a maximum șase mărimi de ieșire, indicînd la fiecare pas de tipărire valoarea timpului, respectiv și valorile celor șase mărimi de ieșire corespunzătoare acestui timp. Utilizatorul trebuie să indice, pentru fiecare mărime de ieșire ce urmează a fi reprezentată grafic, valoarea minimă și valoarea maximă (care la prima rulare vor fi estimate). $INDTIP = 1$, cînd se dorește tipărirea, la fiecare pas de tipărire, a tuturor mărimilor de ieșire ale circuitului (tensiunile și curenții tuturor laturilor);

— *NCRT* — numărul curenților ce urmează a fi reprezentați grafic;

— *NTEN* — numărul tensiunilor ce urmează a fi reprezentați grafic;

— *XT* — momentul inițial al declanșării regimului tranzitoriu sau regimului variabil în timp;

— *XHT* — pasul în timp;

— *XPT* — pasul de tipărire.

2. Urmează un set de $NCRT + NTEN$ cartele care se citesc cu formatul: *I3*, 2F30.20. Fiecare cartelă conține: numărul laturii curentului (tensiunii) și valorile minimă și maximă ale curentului (tensiunii) care urmează a fi reprezentat (reprezentată) grafic.

Observația 1

După citirea variabilelor întregi, pe fiecare cartelă de date are prioritate locul virgulei.

3. Cartela următoare se citește cu formatul 3I4 și cuprinde următoarele mărimi:

— *NLI* — numnrul inițial de laturi (inclusiv laturile (porțile) de comandă și comandate ale celor patru tipuri de surse comandate);

— *NNOD* — numărul inițial de noduri (inclusiv cele prin care s-au identificat porțile comandate și de comandă ale surselor comandate, vezi exemplul);

— *NPS* — numărul părților separate ale circuitului plus numărul surselor de tensiune comandate în curent $\hat{e}(i)$.

4. Urmează un set de *NLI* cartele care descriu laturile circuitului. Aceste cartele se citesc cu formatul: 2I2, I3, G20.10. Fiecare latură e descrisă prin: nodul inițial, nodul final, tipul și valoarea parametrului asociat.

Observația 2

În PSACELN fiecare latură este formată *dintr-un singur element dipolar de circuit* sau *o poartă de comandă* a unei surse comandate.

Laturile circuitului sînt împărțite în cinci tipuri, astfel:

Tipul 1 — cuprinde sursele independente de tensiune (inclusiv cele din schemele echivalente discrete ale bobinelor).

Tipul 2 — conține mulțimea rezistoarelor neliniare c.u. (inclusiv cele din schemele echivalente discrete ale condensatoarelor neliniare c.u.).

Tipul 3 — cuprinde toate rezistoarele liniare (inclusiv cele din schemele echivalente discrete ale bobinelor și condensatoarelor liniare).

Tipul 4 — conține mulțimea rezistoarelor neliniare c.i. (inclusiv cele din schemele echivalente discrete ale bobinelor neliniare c.i.).

Tipul 5 — cuprinde sursele independente de curent (inclusiv cele din schemele echivalente discrete ale condensatoarelor).

Laturilor de comandă și comandate ale celor patru tipuri de surse comandate diport li se asociază ca tip numerele naturale din tabelul 1.

Tabelul 1

Tipul sursei comandate	Latura comandată	Latura de comandă
$\hat{e}(i)$	10, 11, ..., 29	100, 101, ..., 119
$\hat{e}(u)$	30, 31, ..., 49	300, 301, ..., 319
$\hat{j}(u)$	50, 51, ..., 59	500, 501, ..., 519
$\hat{j}(i)$	70, 71, ..., 89	700, 701, ..., 719

Evident, dacă latura comandată a unei surse $\hat{e}(u)$ are ca tip numărul 33, latura de comandă corespunzătoare va avea ca tip numărul natural 303 ș.a.m.d.

Parametrii asociați laturilor surselor comandate sînt prezentați în tabelul 2.

Tabelul 2

Tipul sursei comandate	Relațiile de definiție	Parametrul asociat	
		Latura comandată	Latura de comandă
$\hat{e}(i)$	$u_C = 0$ $e_C = u_C = R_{CC} i_C$	R_{CC}	R_{CC}
$\hat{e}(u)$	$i_C = 0$ $e_C = u_C = A_{CC} u_C =$ $= R_C G_C u_C$	ca val. $R_C = A_{CC}$	$\frac{1}{G_C} = 1\,\Omega$
$\hat{j}(u)$	$i_C = 0$ $j_C = i_C = G_{CC} u_C$	$1 / G_{CC}$	$1 / G_{CC}$
$\hat{j}(i)$	$u_C = 0$ $j_C = i_C = B_{CC} i_C =$ $= G_C R_C i_C$	$\frac{1}{G_C} = 1\,\Omega$	ca val. $R_C = B_{CC}$

Fiecărei surse independente, inclusiv celor din schemele echivalente discrete ale L (bobinelor) și ale C (condensatoarelor), (fiecărui rezistor neliniar, inclusiv celor din schemele echivalente discrete ale L neliniare c.i. și ale C neliniare c.u.) i se atribuie ca parametru, într-o ordine arbitrară, un număr natural începînd cu 1, pînă la numărul total de surse independente (rezistoare neliniare). Aceasta, pentru a identifica ușor abscisele și ordonatele fiecărei (fiecărui) surse independente (rezistor neliniar) în matricea SEJ (RNN), vezi exemplul.

Observația 3

În cazul în care circuitul analizat nu conține L sau C ordinea laturilor este arbitrară. Dacă circuitul studiat conține L sau C, atunci ordinea laturilor este următoarea :

— sursele independente de tensiune (inclusiv cele din schemele echivalente discrete ale L) ;

— sursele independente de curent (inclusiv cele din schemele echivalente discrete ale C) ;

— rezistoarele din schemele echivalente discrete ale C ;

— rezistoarele din schemele echivalente discrete ale L ;

— după aceea ordinea celorlalte laturi ale circuitului electric studiat este arbitrară.

5. Se citesc coordonatele surselor independente (inclusiv cele corespunzătoare L și C) și apoi, coordonatele rezistoarelor neliniare (inclusiv a celor corespunzătoare C neliniare c.u. și L neliniare c.i.). Coordonatele surselor independente (rezistoarelor neliniare) sînt date în matricea $SEJ(RNN)$, ce conține pe prima linie numărul de puncte (maximum 49) prin care sînt date caracteristicile $e - t$ sau $j - t$ ($i - u$ sau $u - i$), iar pe coloane, începînd cu linia a doua, sînt prezentate cocrdonatele, mai întîi abscisele și apoi ordonatele fiecărei caracteristici în ordinea atribuită, ca parametru, surselor independente (rezistoarelor neliniare).

Prima linie a matricei SEJ (RNN) se citește cu formatul 16F5.0. Abscisele și ordonatele fiecărei surse independente (fiecărui rezistor neliniar) se citesc de pe coloanele matricei $SEJ(RNN)$, începînd cu linia a doua, cu formatul 4 F 20.10 astfel : mai întîi abscisele și apoi, fără să se treacă la cartelă nouă, ordonatele.

Observația 4

Este indicat ca fiecare sursă independentă, constantă în timp, să fie specificată pentru simplitate, numai prin două puncte de abscise arbitrare și ordonatele egale cu valoarea t.e.m. (curentului) a sursei de tensiune (curent) respective.

Observația 5

Valorile ordonatelor surselor independente de tensiune (curent) din schemele echivalente discrete ale $L(C)$ sînt egale, la începutul procesului de integrare, cu valorile inițiale ale curenților (tensiunilor) $L(C)$.

6. Ultimul set de date de intrare este format din valorile inițiale (de început) ale variabilelor independente (vectorul tensiunilor rezistoarelor neliniare) c.u. ramuri u_{ua} și vectorul curenților rezistoarelor neliniare c.i. coarde i_{ic} [1,4]), în cazul în care circuitul studiat conține elemente neliniare. Aceste mărimi se citesc cu formatul 4 F 20.10.

Observația 6

Deoarece nu se cunosc aprioric numărul și natura variabilelor independente necesare analizei hibride a circuitelor electrice neliniare (decît după o primă rulare a PSACELN), se vor da, la început, valori inițiale pentru toate variabilele independente ale tuturor rezistoarelor neliniare conținute de circuitul analizat.

2. Mărimi de ieșire

PSACELN tipărește toate mărimile de intrare citite și furnizează utilizatorului următoarele date :

— numărul elementelor de circuit corespunzătoare fiecăruia din cele cinci tipuri de elemente ;

— numărul buclelor formate numai din rezistoare neliniare c.u. sau din rezistoare neliniare c.u. și surse independente de tensiune sau laturile comandate (de comandă) ale surselor de tensiune (curent) comandate (în curent) și numărul suprafețelor de secțiune intersectate numai de rezistoare neliniare c.i. sau de rezistoare neliniare c.i. și surse independente de curent sau laturile comandate (de comandă) ale surselor de curent (tensiune) comandate (în tensiune) ;

— matricele incidentelor esențiale Λ, β, corespunzătoare grafurilor de curent G^I, respectiv tensiune G^u ;

— în funcție de valorile indicelui de tipărire INDTIP, PSACELN furnizează utilizatorului date reprezentate grafic sau tabelar după dorință (vezi paragraful 2).

3. Descrierea PSACELN

PSACELN permite analiza circuitelor electrice cu maximum : 50 de noduri, 100 de laturi, 30 de elemente neliniare de circuit, 30

de surse independente variabile în timp și cîte 20 de surse comandate din fiecare din cele patru tipuri.

PSACELN ocupă o memorie de 200 ko în dublă precizie și 145 ko în simplă precizie. Evident, dacă partiția, pusă la dispoziția utilizatorului, are o memorie mai mare decît 200 ko, complexitatea circuitului analizat crește corespunzător.

Structura pe segmente și subrutine a PSACELN este descrisă detailat în [1,5]. PSACELN este depus, în forma UTILIMT pe discul AD4 al calculatorului FELIX 512 din cadru Centrului de calcul al I.P.B., și poate fi apelat cu cartela de FETCH.

PSACELN are două variante : una utilizează algoritmul Newton-Raphson pentru rezolvarea sistemelor algebrice neliniare și cealaltă utilizează algoritmul lui Katzenelson.

PSACELN folosește pentru analiza circuitelor electrice rezistive neliniare metoda de analiză hibridă expusă în [4,8], iar pentru cele liniare utilizează metoda tensiunilor rezistoarelor ramuri sau cea a curenților rezistoarelor coarde prezentate în [6].

Modelele discrete generalizate ale L și C sînt asociate metodei de derivare regresivă de ordinul întîi cu pas constant [1, 2].

4. Exemplu

Fie circuitul electric reprezentat în figura 1. După înlocuirea lui L și C cu circuite discrete echivalente asociate cu metoda de derivare regresivă de ordinul întîi [1] și după rearanjarea

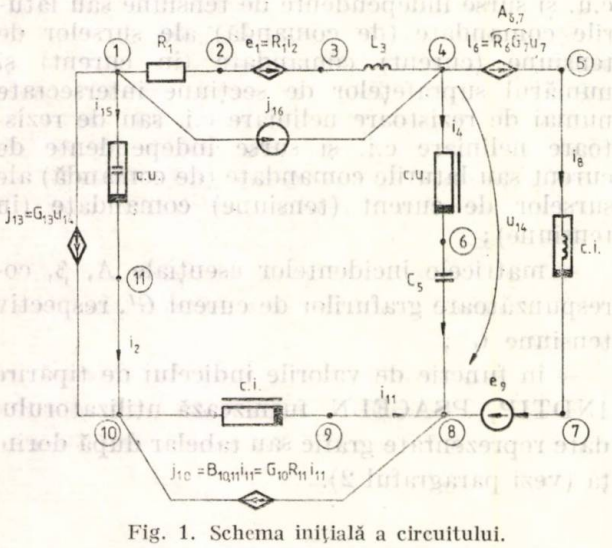


Fig. 1. Schema inițială a circuitului.

ordinei laturilor, conform celor prezentate în paragraful 2, se obține schema echivalentă din figura 2.

Numerele naturale înscrise în pătrate și așezate lîngă rezistoarele neliniare și respectiv sursele independente, în figura 2, reprezintă valorile parametrilor asociați laturilor respective.

Datele de intrare corespunzătoare circuitului electric din figura 2 sînt :

1. $NPT = 101$ (de exemplu), $NEI = 1$, $NJI = 1$, $ITMAX = 30$ (de exemplu), $ITIP = 1$ (regim tranzitoriu), $INDTA = 1$ (algoritmul Katzenelson), $INDAH = 0$, $INDTIP = 0$

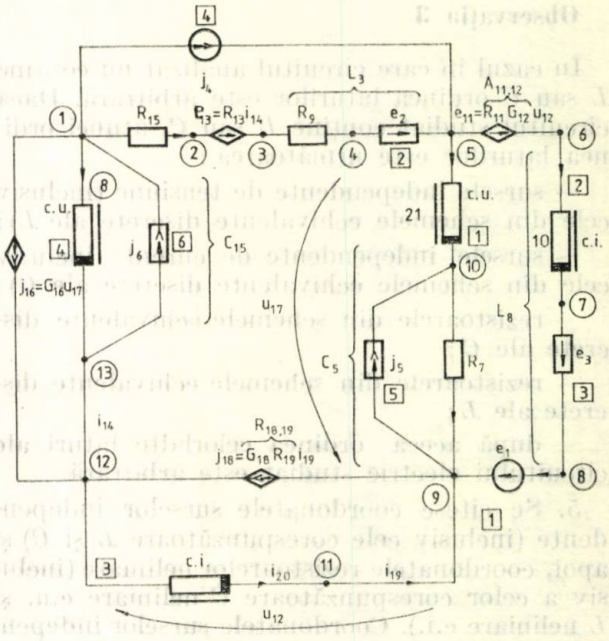


Fig. 2. Schema echivalentă a circuitului cu modele de circuit discrete pentru L și C.

(reprezentare grafică), $NCRT = 2$, $NTEN = 2$ (de exemplu) $XT = 0.0$, $XHT = 0.001$ și $XPT = 0.01$.

2.

Curentul	*Valoarea minimă*	*Valoarea maximă*
9	−2.0	2.0
21	−3.0	3.0

Tensiunea	*Valoarea minimă*	*Valoarea maximă*
8	−100.0	100.0
7	−200.0	200.0

S-a presupus că utilizatorul dorește să obțină reprezentarea grafică a curenților din laturile 9 și 21 și a tensiunilor laturilor 8 și 7. Valorile minime și maxime ale mărimilor ce urmează a fi reprezentate grafic s-au estimat a fi cele înscrise mai sus.

3. $NLI = 21$, $NNOD = 13$ și $NPS = 2$ (există o sursă comandată $\hat{e}(i)$, sursa e_{13}).

4. *Nod inițial*	*Nod final*	*Tipul*	*Parametrul*
8	9	1	1.0
4	5	1	2.0
7	8	1	3.0
1	5	5	4.0
9	10	5	5.0
13	1	5	6.0
10	9	3	$R_7 = \frac{h}{a_0 \cdot C_5}$
1	13	2	4.0
3	4	3	$R_9 = a_0 L_3/h$
6	7	4	2.0
6	5	30	R_{11}
9	12	300	$1./G_{11} = 1.0$
3	2	10	R_{13}
13	12	100	R_{13}
1	2	3	R_{15}
1	12	50	$1./G_{16}$
5	9	500	$1./G_{16}$
9	12	70	$1./G_{18} = 1.0$
11	9	700	R_{19}
12	11	4	3.0
5	10	2	1.0

5. Circuitul din figura 2 conține 3 surse independente de tensiune (e_1, e_2 și e_3) și 3 surse independente de curent (j_4, j_5 și j_6).

Presupunînd că circuitul analizat are condiții inițiale de zero și că : $e_1 = 10$ V(c.c.) și $j_4 = 1$ A (c.c.), atunci matricea *SEJ* are structura :

SEJ =

2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	
-1.0	10.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	1.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0
1.0	10.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0

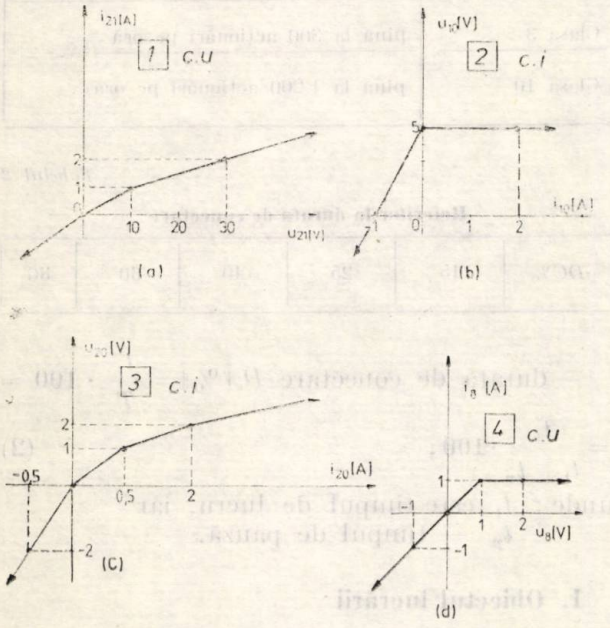


Fig. 3. Caracteristicile rezistoarelor neliniare.

Deoarece toate cele șase surse independente sînt constante în timp s-au luat pentru abscise valorile arbitrare —1.0 și 1.0.

Presupunînd că cele 4 rezistoare neliniare ale circuitului studiat, cu caracteristicile $\hat{i}(u)$ și respectiv $\hat{u}(i)$ sînt cele reprezentate în figura 3, atunci, matricea *RNN* are forma :

RNN =

3.0		3.0		4.0		4.0	
0.0	0.0	-1.0	0.0	-0.5	-2.0	-1.0	-1.0
10.0	1.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30.0	2.0	2.0	5.0	0.5	1.0	1.0	1.0
				2.0	2.0	2.0	1.0

Caracteristicile $\hat{u}_{10}(i_{10})$ și $\hat{i}_8(u_8)$ se obțin din caracteristicile $\hat{\varphi}_{10}(i_{10})$ și, respectiv $\hat{q}_8(u_8)$, prin împărțirea ordonatelor la valoarea pasului de integrare h.

6. Deoarece nu se cunosc aprioric ca tip și număr, variabilele independente necesare analizei hibride a circuitului (ele fiind determinate automat de PSACELN), se vor da valori inițiale (de început) pentru toate variabilele independente ale celor patru rezistoare neliniare conținute de circuit (u_{21}, i_{10}, i_{20} și u_8). Fie acestea 0.0, 0.0, 0.0 și 0.0.

5. Concluzii

PSACELN se caracterizează printr-un înalt grad de generalitate, el permițînd analiza circuitelor electrice liniare sau neliniare de mare complexitate, atît în regim tranzitoriu, cît și în regim staționar.

PSACELN este un instrument deosebit de util și eficient în analiza și, mai ales, în proiectarea circuitelor electrice și electronice performante (amplificatoare, oscilatoare, filtre, redresoare, invertoare etc.) cu largă aplicabilitate practică.

PSACELN este astfel conceput încît permite un dialog simplu, natural utilizator-calculator astfel încît el poate fi utilizat și de cei neinițiați în teoria și analiza circuitelor electrice.

PSACELN, folosește cele mai moderne și noi metode de analiză a circuitelor cum sînt : metoda hibridă, metoda de tip tablou, determinarea *ANC* și a matricelor incidentelor esențiale cu o tehnică de calcul cu matrice rare [7] etc.

Metoda de analiză hibridă de tip tablou utilizată în program prezintă un avantaj deosebit în analiza circuitelor electrice neliniare deoarece părțile din ecuațiile hibride ale circuitului care depind numai de elementele liniare de circuit se calculează o singură dată, la începutul fiecărui proces de iterație. Aceasta conduce la o economisire substanțială a timpului de calcul.

Faptul că PSACELN nu impune schema echivalentă a tranzistoarelor existente în structura circuitului analizat, dă posibilitatea utilizatorului de folosire pentru tranzistoare a acelor scheme echivalente pe care le consideră cele mai adecvate regimului de funcționare analizat.

Bibliografie

[1] *Iordache, M., Cătană, I., Marinescu, N.* și *Mihai, Cl.* A new computer-aided tableau-circuit analysis method. In : Rev. Roum. Sci. Techn. Électrotechn. et Énerg., nr. 4, 1984, în curs de apariție.

[2] *Chua, L., O.*, and *Lin, P. M.* Computer Aided Analysis of Electronic Circuits : Algorithms and Computational Techniques. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1975.

[3] *Chua, L., O.*, and *Ying, R., P.* Canonical piecewise-linear analysis. In : I E E E Trans Circuits Syst., vol. CAS-30, no 3, March 1983, p. 125—140.

[4] *Iordache, M.* A hybrid method for resistive nonlinear ntwork analysis. In : Rev. Roum. Sci. Techn. Électrotechn. et Énerg., no. 1, 1982, p. 27—39.

[5] *Iordache, M.* PSACELN — manual de utilizare. Biblioteca Catedrei de electrotehnică II, Institutul politehnic — București.

[6] *Iordache, Diana, Iordache, M., Voicu, N.* Algoritm și program de analiză a circuitelor electrice liniare rezistive cu surse comandate. In : E.E.A. — Electrotehnica, nr. 3, 1979. p. 120—125.

[7] *Iordache, M.* Utilizarea unei tehnici de calcul cu matrice rare în determinarea arborelui normal comun și a matricelor incidențelor esențiale. In : E.E.A.— Electrotehnica nr. 5, 1982, p. 189—194.

[8] *Iordache, M., Dornescu, D.* : On the hybrid method for resistive nonlinear network analysis. In : Rev. Roum. Sci. Techn. Électrotechn. et Énerg., nr. 4, 1982, p. 399—410.

CZ 621.3.032.4 : 621.316.5

DISPOZITIV ELECTRONIC
CONTACTE ELECTRICE

Dispozitiv pentru încercat contacte electrice cu control de fază

VASILE TRUȘCĂ, ANDREI BOBOȘ — BUCUREȘTI

Introducere

Aparatele electrice de comutație și componentele acestora sînt supuse, pe parcursul procesului tehnologic de fabricație, unor încercări destinate stabilirii performanțelor lor funcționale.

Contactele electrice ale aparatelor electrice de comutație reprezintă componente esențiale, de a căror durată de viață depinde practic durata de viață a aparatului privit ca ansamblu funcțional. Încercările contactelor electrice se referă, în principal, la verificarea uzurii electrice, încercări care se efectuează în concordanță cu standardele de stat, [2, 3], și recomandările CEI, [4], cu privire la aparatele de comutație de joasă tensiune. Aceste recomandări se referă la condițiile tehnice pe care trebuie să le îndeplinească aparatele în timpul încercărilor în vederea omologării acestora.

În cazul regimului intermitent se are în vedere numărul de acționări (cicluri complete, închidere — deschidere) pe oră, pe care trebuie să le suporte aparatul care, conform normelor [2], sînt clasificate ca în tabelul 1, ca și duratele relative de conectare care, de asemenea, sînt normalizate [3] așa cum rezultă din tabelul 2.

Mărimile mai sus menționate se calculează în funcție de timpul de lucru și timpul de pauză, conform relațiilor [1] :

— timpul unui ciclu $T_c = \frac{3\,600}{f_c}$ s, (1)

unde : f_c, este frecvența de conectare, con/h ;

Tabelul 1

Referitor la frecvența de conectare

Clasa 0,03	pînă la 3 acționări pe oră
Clasa 0,1	pînă la 12 acționări pe oră
Clasa 0,3	pînă la 30 acționări pe oră
Clasa 1	pînă la 120 acționări pe oră
Clasa 3	pînă la 300 acționări pe oră
Clasa 10	pînă la 1 200 acționări pe oră

Tabelul 2

Referitor la durata de conectare

$DC\%$	15	25	40	60	80

— durata de conectare $D_c[\%] = \frac{t_l}{T_c} \cdot 100 = \frac{t_l}{t_l + t_p} \cdot 100$; (2)

unde : t_l este timpul de lucru, iar
t_p — timpul de pauză.

1. Obiectul lucrării

Obiectul lucrării îl constituie un echipament destinat efectuării studiului uzurii electrice a contactelor aparatelor de comutație de joasă tensiune în domeniul 6A ÷ 630 A, cu posibili-

* Dr. Ing. *Trușcă, V.*, ing. *Boboș, A.* — Facultatea de electrotehnică — I.P.B.

tatea controlului fazei ψ la conectarea tensiunii și al fazei la deconectarea curentului [1]. Elementul principal al echipamentului îl constituie un dispozitiv electronic care asigură temporizările și controlul fazei în funcție de necesitățile de încercare în concordanță cu cerințele normelor amintite mai sus [2, 3, 4]. Dispozitivul menționat, care face obiectul prezentei lucrări, are în vedere reproducerea solicitărilor la uzură electrică a contactelor contactoarelor sau întreruptoarelor de joasă tensiune, solicitări care apar în exploatarea curentă.

Varianta de aparat prezentată, reprezintă o soluție originală a autorilor și a fost realizată cu circuite logice de tip TTL.

În literatura de specialitate s-a remarcat existența unui dispozitiv destinat aceluiași scop, însă realizat pe cale mecanică [5]. Precizia în funcționare a dispozitivului electronic realizat de autori este superioară față de cea a unui dispozitiv mecanic susceptibil de a produce erori sistematice.

Dispozitivul realizat a fost proiectat în concepție proprie și asigură următoarele performanțe:

a — reproduce cu fidelitate, încercările sub sarcină pentru un anume curent de încercare și un anume cos φ;

b — încercările se pot face cu controlul fazei de conectare ψ a tensiunii $u_s = \hat{U} \sin(\omega t + \psi)$, în vederea obținerii de diverse forme de curenți (simetrici, asimetrici), ca și a fazei de deconectare a curentului [1];

c — dispozitivul permite contorizarea ciclurilor de conectare și de deconectare în funcție de timpul de funcționare, atunci cînd este utilizat în regim repetitiv „AUTOMAT";

d — poate înlocui o parte a programatorului electronic dintr-o stație de încercări;

e — dispune de o fiabilitate ridicată și dacă sînt selectate componentele electronice, precizia de lucru poate ajunge în clasa 0,1.

2. Realizări practice

Dispozitivul conceput și realizat îndeplinește, pe parcursul efectuării experimentărilor, următoarele funcțiuni:

1. Controlul fazei tensiunii de alimentare și al timpului la conectare. Reglarea fazei de conectare se realizează în trepte de 15 grade electrice între 0 și 180 grade electrice.

2. Reglarea timpului de conectare (timpul de lucru), în intervalul 2÷18 s, în trepte reglabile din 2 în 2 secunde.

3. Controlul fazei și timpului de deconectare a curentului. Faza de deconectare se poate regla pentru unghiurile specificate mai sus, iar timpul de deconectare (timpul de pauză) se poate regla în domeniul 0 ÷ 990 s.

4. Posibilitatea de efectuare a probelor pentru același curent și același cos φ, în regim repetitiv, cu reglarea în prealabil atît a timpului, cît și a unghiului la conectare și la deconectare.

5. Posibilitatea de efectuare a unui singur ciclu de conectare și de deconectare pentru parametrii în prealabil reglați.

6. Posibilitatea de încercare la uzură electrică a contactelor aparatelor de comutație de joasă tensiune în condiții grele de funcționare din punct de vedere al frecvenței de conectare și al duratei de conectare.

În consecință, aparatul realizat permite determinarea duratei de viață a contactelor electrice, respectiv a aparatelor electrice, avînd în vedere că uzura electrică este influențată direct de frecvența de lucru, de durata de conectare și de faza conectării și deconectării. La o frecvență de lucru ridicată, apare tendința de sudură pronunțată, datorită energiei arcului electric care încălzește excesiv contactele. În aceste condiții apare și tendința de migrație a materialului de contacte, respectiv o scădere în greutate a pieselor de contact.

Uzura electrică poate fi apreciată atît prin cîntărirea pieselor de contact după un anumit număr de manevre, cît și prin măsurarea rezistenței de contact respectiv a căderii de tensiune pe contacte.

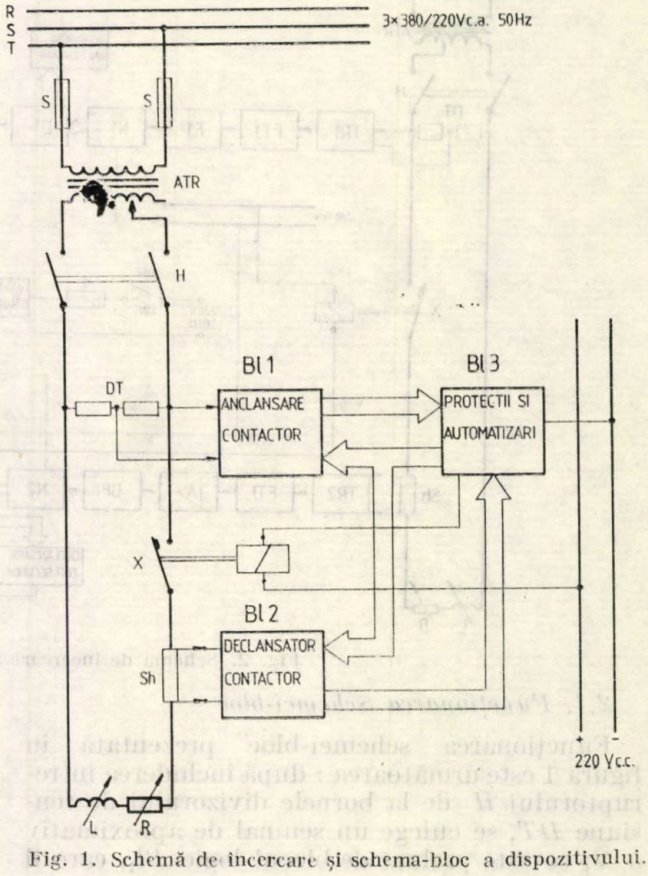


Fig. 1. Schemă de încercare și schema-bloc a dispozitivului.

Dispozitivul realizat se introduce într-o schemă de încercare ca în figura 1, unde s-au făcut următoarele notații :

ATR — autotransformator reglabil ;
S — siguranțe fuzibile ;
H — întreruptor manual ;
DT — divizor de tensiune ;
X — aparat de încercat ;
Sh — șunt ;
L, R — sarcina pentru reglarea curentului I și a cos φ ;
Bl_1 — blocul care asigură logica la conectare ;
Bl_2 — blocul care asigură logica de deconectare ;
Bl_3 — blocul care asigură logica de comandă a dispozitivului.

Încercarea contactelor poate fi efectuată fie direct pe un aparat real (contactor sau întreruptor), dacă acesta are dispersii mecanice minime sau se montează într-un dispozitiv special construit, de tipul contactorului sincron [1], care asigură o dispersie foarte mică în ceea ce privește faza conectării, respectiv a deconectării.

prelucrează și după timpul și faza reglată dă comanda de închidere a aparatului de încercat X. În acest moment, la bornele șuntului Sh apare un semnal de tensiune care este preluat de blocul de logică Bl_2, care, de asemenea, după timpul și faza reglată, asigură deschiderea contactelor aparatului de încercat.

Blocul Bl_3, conține logica de comandă, adică sistemele de control, comandă și afișare.

Sistemul de control este realizat în schemă de contactele a trei relee, asigurînd buna funcționare a schemei, conform comenzilor logice.

Sistemul de comandă realizează logica de trecere de la blocul 1 la blocul 2, semnalizînd în același timp și zona de secțiune pe care lucrează.

Sistemul de afișare realizează semnalizarea funcționării în blocul Bl_1 sau Bl_2 și, de asemenea, momentul comenzii „START".

Întreg sistemul de logică se bazează pe un circuit simplu de memorie de tip „LATCH-UP" realizat cu porți logice pentru a evita acționarea pe frontul impulsurilor.

În figura 2 se prezintă schema-bloc în care se pune în evidență și componența celor trei

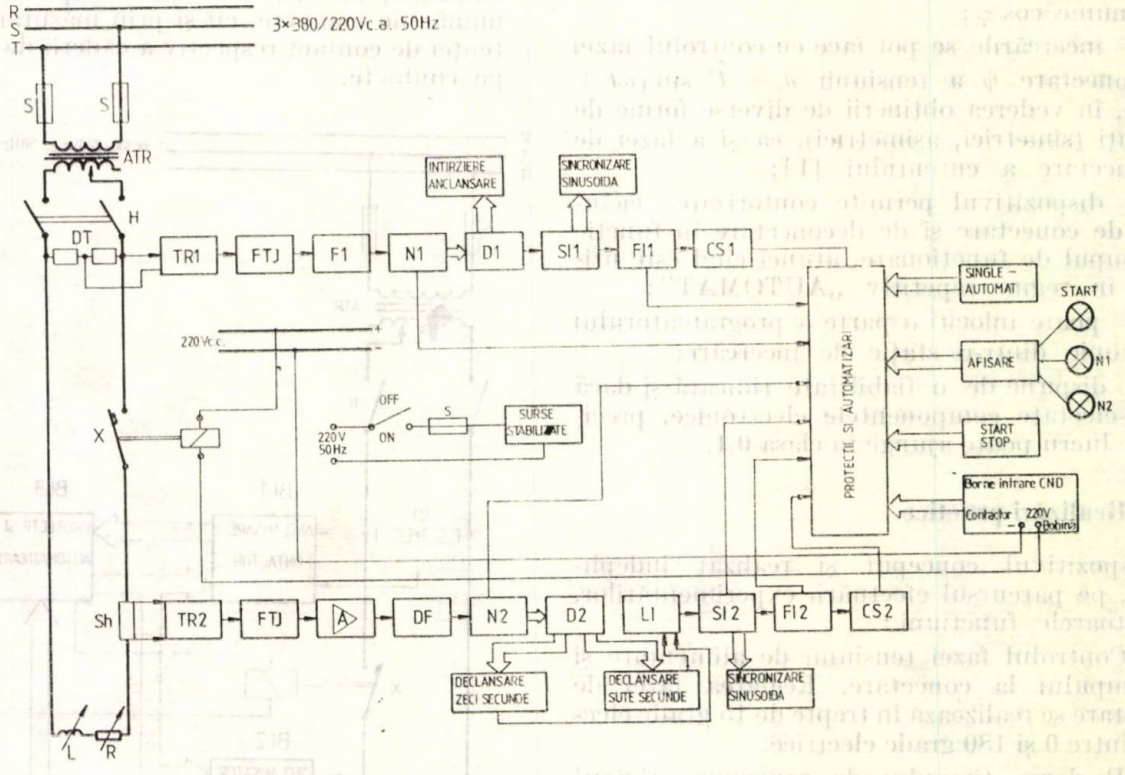


Fig. 2. Schema de încercare și componența blocurilor dispozitivului.

2.1. Funcționarea schemei-bloc

Funcționarea schemei-bloc prezentată în figura 1 este următoarea : după închiderea întreruptorului H de la bornele divizorului de tensiune DT, se culege un semnal de aproximativ 5 V, ce este preluat de blocul logic Bl_1, care îl

blocuri. Astfel, în afara notațiilor din schema 1 mai apar suplimentar următoarele notații :

TR_1 — transformator de adaptare 220 V/15 V ;
TR_2 — transformator de separare 10 V/10 V ;

FTJ — filtru trece jos;
F_1 — formator de impulsuri pentru numărător;
FI_1, FI_2 — formatoare de impulsuri pentru comanda tiristoarelor;
A — amplificator;
N_1, N_2 — numărătoare de impulsuri;
DF — detector fereastră;
D_1, D_2 — decodoare;
SI_1, SI_2 — sisteme de întîrziere;
LI — logică intermediară;
CS_1, CS_2 — circuite de separare.

2.2. Funcționarea schemei și a dispozitivului

După închiderea întreruptorului H, apariția semnalului sinusoidal este sesizată de transformatorul de adaptare TR_1, 220 V/15 V care adaptează nivelul de tensiune la +15 V, necesar funcționării schemei. Semnalul respectiv preluat în blocul Bl_1 este filtrat de frecvențele superioare, datorate comutațiilor, de un filtru pasiv dublu gama trece-jos FTJ, semnal care este introdus în formatorul de impulsuri F_1, pentru numărător. Acesta realizează din unda sinusoidală filtrată un semnal dreptunghiular de amplitudine ± 15 V și de durată 10 ms. Formatorul de impulsuri este realizat dintr-un amplificator operațional βA 741, în buclă deschisă, avînd un factor de amplificare de cca (40 ÷ 200) 10^3. Formatorul de impulsuri F_1 are ieșirea cuplată cu un tranzistor BC 107, care lucrează în regim de comutație pentru a realiza astfel adaptarea cu numărătorul. Semnalul astfel adaptat ajunge la numărătorul N_1. Numărătorul rămîne însă blocat, deoarece ieșirea din circuitul de memorie „LATCH UP" este pe poziția „1" logic. Acesta se deblochează, adică începe să numere în momentul primirii comenzii „START". După scurgerea timpului preselectat semnalul din numărător este trecut în circuitul decodor D_1, format dintr-un circuit integrat CDB 442, care comandă sistemul de întîrziere SI_1. Numărătorul N_1 este realizat cu 3 circuite logice CDB 490, sub forma unor divizoare decadice care împarte frecvența la 1 000, deci multiplică timpul de 1 000 de ori, [6, 7].

Dacă se consideră frecvența rețelei $f = 50$ Hz, rezultă:

$$f_0 = \frac{f}{1\,000} = \frac{50}{1\,000} = 0{,}05 \text{ Hz}, \quad (1)$$

respectiv:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{1}{0{,}05} = 20 \text{ s}. \quad (2)$$

Circuitul decodor D_1, asigură trecerea în codul binar BCD, fiind legat la ultima decadă a numărătorului N_1, deci la ieșirea lui se obțin timpi reglabili în trepte de cîte 2 s, între 2 și 20 s. Ieșirile decodorului sînt accesibile pe panoul frontal al aparatului prin intermediul unui comutator rotativ cu care se alege timpul cu care este întîrziată anclanșarea contactorului. Din necesități de schemă cursorul comutatorului este legat la blocul sistemului de întîrziere SI_1, care este format dintr-un circuit basculant monostabil de tip CDB 4121. Sistemul de întîrziere SI_1, alege momentul de anclașare pe sinusoidă la un unghi prestabilit, deci permite controlul fazei conectării.

Timpul de întîrziere față de frontul pozitiv se calculează cu relația [6, 7]:

$$\Delta t_0 = RC \ln 2, \text{ ms}. \quad (3)$$

Dacă se impune $\Delta t_{0\max} = 10$ ms, adică 180 grade electrice, rezultă:

$$C = \frac{\Delta t_0}{R \ln 2} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{20.10^3 . 0{,}69} \simeq 0{,}724 \ \mu\text{F}. \quad (4)$$

Erorile de fază care pot apare în funcționare pot proveni din modificarea frecvenței rețelei. Eroarea maximă se poate determina după cum urmează:

Dacă se notează cu:
Δt_0 — întîrzierea prestabilită pentru frecvența de 50 Hz;
Δt_0^* — întîrzierea efectivă la o frecvență f_x, diferită de 50 Hz rezultă:

$$\Delta t_0^* = \frac{t_0 \cdot 50}{f_x}. \quad (5)$$

Dacă se consideră că la un moment dat $f_x = 48{,}5$ Hz, rezultă:

$$\Delta t_0^* = 1{,}03 \ \Delta t_0. \quad (6)$$

Acest rezultat semnifică faptul că pentru un unghi fixat se obține o eroare maximă de 3%, eroare care se poate compensa dacă în prealabil se măsoară frecvența.

Fiecare treaptă a potențiometrului corespunde la o variație a rezistenței.

$$\Delta R = \frac{20 \cdot 10^3}{10} = 2 \text{ k}\Omega, \quad (7)$$

deci:

$$\Delta t_{0\min} = \Delta R \cdot C \ln 2 = 2.10^3 \cdot 0{,}724 \cdot 10^{-6} \ln 2 = 1 \text{ ms}, \quad (8)$$

respectiv 18 grade electrice.

Prin modul de realizare a întîrzierii nu se recomandă să se preselecteze $\Delta t_0 = 0$, deoarece pentru $R = 0$, funcționarea monostabilului este incertă.

Formatorul de impulsuri FI_1, pentru comanda tiristorului de închidere a contactelor este realizat dintr-un circuit basculant monostabil, de tip CDB 4121. El are rolul de a produce un impuls de durată fixă necesar, în final, comenzii pe poartă a tiristorului de anclașare. Durata impulsului s-a ales :

$$\tau = RC \ln 2 = 3{,}3 \cdot 10^3 \cdot 0{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}69 = 0{,}227 \text{ ms.} \quad (9)$$

Circuitul basculant furnizează pe lîngă semnalul necesar comenzii tiristorului și o ieșire necesară logicii de comandă.

Circuitul de separare CS_1, are rolul de a asigura o protecție în funcționare a schemei, împotriva unor perturbații parazite. Modul de realizare a acestui circuit este similar cu cel folosit în construcția calculatoarelor. El asigură o izolare galvanică prin intermediul unui cuplor optic de tip TIL 112, o izolare galvanică între schema de comandă și cea de logică.

Secțiunea blocului Bl_2, realizează funcția de deschidere a contactelor după un timp și un unghi fixat, după ce blocul Bl_1 a realizat închiderea contactelor. După închiderea contactelor circuitul de forță s-a închis și de la bornele șuntului Sh se culege un semnal care este preluat de transformatorul $TR2$, cu rol de transformator de separare galvanică. Modul de realizare a blocului Bl_2 este similar cu al blocului Bl_1.

Deoarece raportul de transformare a transformatorului de separare TR_2 este 1 : 1, iar semnalul cules de pe șunt este redus, variind de regulă între 2,5 ÷ 500 mV, după ce semnalul este filtrat la fel ca și în blocul Bl_1, de un filtru trece jos FTJ, acesta este amplificat de amplificatorul A, format dintr-un amplificator operațional βA 741, cu un factor de amplificare 20, eliminîndu-se astfel necesitatea etalonării aparatului în funcție de curent și de șunt. În continuare, semnalul amplificat corespunzător, este introdus într-un detector-fereastră DF, care are rolul de a idèntifica trecerile prin zero în ambele sensuri ale tensiunii alternative. Detectorul-fereastră este realizat de un dublu comparator integrat CLB 2711, avînd pragul de basculare la 0,449 V, [6, 7].

Semnalul obținut la ieșirea detectorului fereastră este transmis sistemului de numărare N_2, după ce, în prealabil, a fost inversat de un circuit de inversare realizat cu un tranzistor BC 107. Numărătorul N_2 este realizat cu 5 decade, asigurîndu-se o întîrziere de 10^5, sau o divizare a frecvenței de 10^5 ori. Semnalul preluat de sistemul de decodare D_2, îndeplinește același rol ca și în secțiunea blocului Bl_1, cu deosebirea că realizează o decodare binar zecimală. Aceasta a revenit la folosirea a două decodare pentru acoperirea intervalului de timp 0 ÷ 990 s. Ieșirile lor au fost conectate la două comutatoare decadice pentru selectarea timpului de declanșare (pauză) a contactorului de încercat.

Cursoarele comutatoarelor transmit semnalul unui circuit ce realizează funcția „SAU", înglobat în blocul de logică intermediară LI.

Prin formatorul de impulsuri FI_2 și circuitul de separare CS_2, cu aceleași funcții ca și în etajul precedent, semnalul ajunge la blocul logicii de comandă („PROTECȚII și AUTOMATIZĂRI") Bl_3 care comandă deschiderea contactelor în condiții preselectate de timp și fază.

Această secțiune a schemei înglobează întreaga logică de comandă, control și protecție a dispozitivului realizat. Funcționarea sa este în strînsă interdependență cu secțiunile blocurilor Bl_1 și Bl_2. Interblocajul între comenzi este realizat și prin intermediul a trei relee electromecanice care dublează astfel memoria simplă de tip „LATCH-UP", folosită în blocul Bl_3. Deoarece este posibil să apară și „0" logic, din cauză că nu se știe cu precizie starea dinaintea efectuării probelor cu dispozitivul realizat, se recomandă ca înaintea acționării butonului „START" să se acționeze butonul „STOP", astfel, în mod sigur la ieșirea circuitului de memorie „LATCH-UP", impulsul va fi „1" logic.

În figura 3 este prezentată fotografia aparatului realizat, pe care s-au făcut următoarele notații :

1. Buton de reglaj în trepte al timpului după care se comandă anclanșarea.
2. Buton de reglaj în trepte al fazei tensiunii la conectare.
3. Buton de reglaj în trepte al timpului după care se comandă deschidesea contactelor (10 ÷ 90 s).
4. Buton de reglaj în trepte al timpului după care se comandă deschiderea contactelor (100 ÷ 990 s).
5. Buton de reglaj al fazei curentului, la deschiderea contactelor.
6. Buton de reglaj al funcționării repetitive, („AUTOMAT") sau al funcționării pe un singur ciclu închidere-deschidere („SINGL").
7, 8. Borne de conexiune cu contactul normal deschis, (ND), al aparatului de încercat.
9. Bornă conexiune a bobinei contactorului excitată în curent continuu, la tensiunea maximă 220 V, c.c.
10. Buton de declanșare a funcționării propriu-zise a aparatului, („START").
11. Bornă de conexiune cu polaritate (−) a sursei de curent continuu, tensiune maximă 220 V c.c., cu care se alimentează bobina aparatului care se testează.

12. Buton de oprire a ciclului de funcționare (STOP).

13. Buton ON — OFF, cu care se comandă alimentarea (ON), sau întreruperea alimentării (OFF), cu tensiune alternativă a aparatului.

14. Semnalizarea vizuală a comenzii de anclanșare a aparatului supus testării.

Se apasă pe butonul „START" al aparatului. În acest fel contactele normal deschise ale butonului „START" sînt puse la potențialul masei și acest fapt determină apariția pe intrarea circuitului de logică (LATCH-UP), a semnalului „0". Circuitul menționat este construit cu porți logice (CDB 400 HE) și rea-

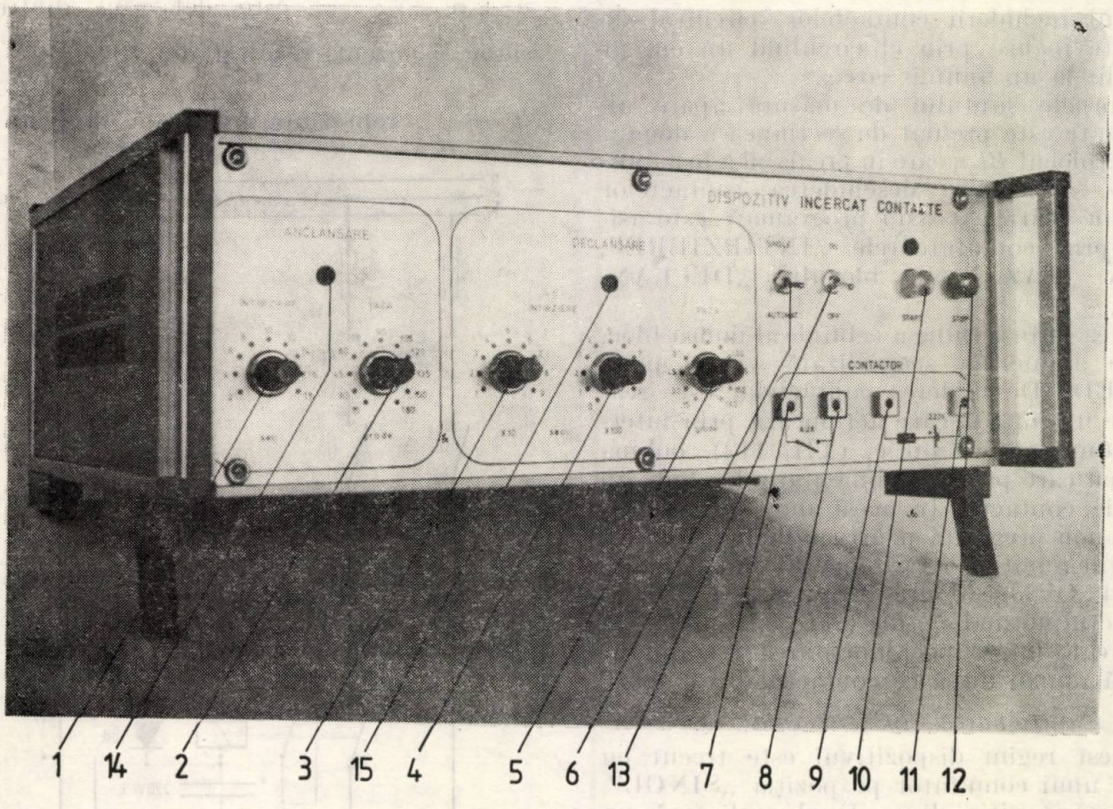


Fig. 3. Fotografia aparatului realizat.

15. Semnalizare vizuală a comenzii de declanșare a aparatului supus testării.

16. Semnalizare vizuală a comenzii de START, precum și a modului de lucru al aparatului („SINGL" sau „AUTOMAT"). La funcționarea pe „SINGL", după executarea unui ciclu LED-ul se stinge.

17. Borne de conexiune la schema de forță; tensiunea de intrare 220 V c.c., pe spatele aparatului.

18. Borne de conexiune la șuntul *Sh*, (de preferință coaxial) prezent în schema de încercare, pe spatele aparatului.

2.3. Modul de lucru

Dispozitivul realizat poate funcționa în două variante:

— pe poziția „SINGL", cînd realizează un singur ciclu de încercare;

— pe poziția „AUTOMAT", cînd realizează un număr oricît de mare de cicluri.

2.3.1. Funcționarea în varianta „AUTOMAT"

În această variantă comutatorul de pe panoul frontal se comută pe poziția „AUTOMAT".

lizează funcția „SI". Această construcție permite ca la ieșirea din circuitul „LATCH-UP" prin basculare, să apară impulsurile „0", la primul numărător, respectiv „1" la al doilea numărător care face parte din blocul Bl_2, cu rol de deshidere a contactelor.

Comanda de START este semnalizată pe panoul frontal al aparatului „vizual" cu ajutorul unui LED, situat deasupra butonului respectiv.

Implsul „0", face ca numărătorul primului bloc Bl_1, să intre în funcțiune și să determine închiderea contactelor după un timp și o fază prestabilită.

Preselectarea acestor două elemente se face cu ajutorul potențiometrelor „ÎNTÎRZIERE" și „FAZĂ", ale blocului „ANCLANȘARE". Funcționarea numărătorului N_1 este semnalizată vizual de o diodă de tip LED situată pe panoul frontal al aparatului. Numărătorul N_1, divizează frecvența rețelei corespunzător întîrzierii la anclanșare preselectate. Semnalul la ieșirea din numărător acționează un circuit

monostabil cu care se alege faza anclanșării și, de asemenea, un alt circuit monostabil care la ieșirea sa furnizează două semnale. Primul semnal comandă tiristorul care determină închiderea contactelor, iar cel de-al doilea semnal furnizat de un circuit bistabil al blocului Bl_1, determină apariția „O" logic pe intrarea de inițializare a numărătorului blocului Bl_2. Din momentul închiderii contactelor, circuitul de forță este închis, prin el circulînd un curent prestabilit la un anumit cos φ.

La bornele șuntului de măsură apare un semnal care este preluat de secțiunea a doua a schemei (blocul Bl_2), care în prealabil a fost programată să asigure deschiderea contactelor supuse încercării. Această programare este asigurată prin comutatoarele „ÎNTÎRZIERE", respectiv „FAZĂ" ale blocului „DECLANȘARE".

Intrarea în funcțiune a celui de al doilea bloc, este, de asemenea, semnalizată vizual printr-un LED. Deschiderea contactelor este realizată de un impuls care acționează prin intermediul unui cuplor optic, (TIL 112), bobina unui releu care primind alimentare deschide un sistem de contacte. În acest moment schema este din nou pregătită pentru reluarea unui alt ciclu, prin reinițializarea blocului Bl_1, de către semnalul „O" logical circuitului „LATCH-UP".

Contactul normal deshis (ND) al aparatului de încercat, întrerupe alimentarea releului de comandă numai după ce contactul s-a deschis.

2.3.2. Funcționarea în varianta „SINGL"

În acest regim dispozitivul este trecut cu ajutorul unui comutator pe poziția „SINGL". Pe această poziție dispozitivul realizează un singur ciclu de închidere-deschidere. Acest lucru este asigurat prin intermediul altor două relee care după terminarea unui ciclu de încercare întrerup și alimentarea bobinei contactorului de încercat. Terminarea probei în acest caz este semnalizată prin stingerea becului de lîngă butonul „START".

3. Rezultate experimentale

Pentru testarea dispozitivului realizat s-au efectuat încercări asupra unui contactor de tip AR 10 A. Schema de încercare este prezentată în figura 4, care cuprinde următoarele elemente:

S — siguranțe fuzibile;
ATR — 18 — autotransformator reglabil;
DT — divizor tensiune, pentru inițializarea blocului Bl_1;
C — contactorul de încercat;
Sh — șunt de măsură și preluarea semnalului pentru inițializarea blocului Bl_2.

Racordurile schemei la „DISPOZITIVUL PENTRU ÎNCERCAT CONTACTE" sînt explicate pe figură.

În figura 5 sînt prezentate oscilogramele obținute pentru diverse faze de conectare a tensiunii ψ, $u_s = \hat{U} \sin(\omega t + \psi)$, pentru a obține diverse forme ale curentului de scurt-circuit [1]:

$$i = \hat{I}[\sin \alpha \, e^{-t/T} + \sin(\omega t - \alpha)], \qquad (10)$$

unde:

$\alpha = \varphi - \psi$; φ, este defazajul dintre tensiune și curent, rezultat din $\operatorname{tg} \varphi = \dfrac{\omega L}{R}$, iar $T = \dfrac{L}{R}$, reprezintă constanta de timp a cir-

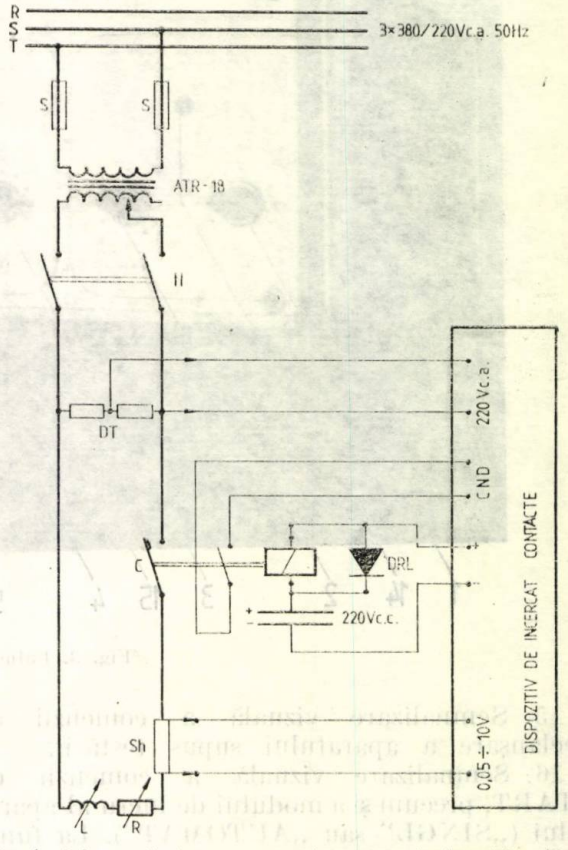


Fig. 4. Schema de încercare pentru un contactor AR—10 A.

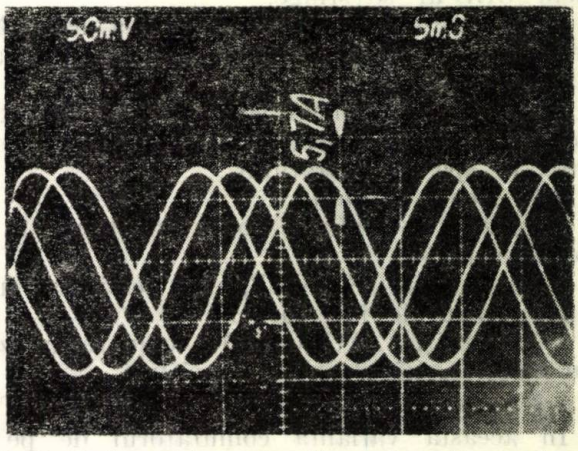


Fig. 5. Oscilogramele pentru diverse faze de conectare a tensiunii sursei.

cuitului. S-au efectuat patru încercări pentru fazele de conectare : 15, 75, 120 și 180 grade electrice.

În figura 6 se prezintă oscilogramele obținute pentru diverse faze de deconectare ale curentului. Încercările s-au efectuat pentru fazele,

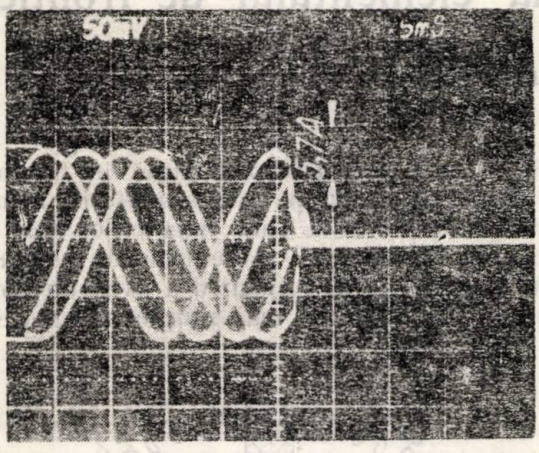


Fig. 6. Oscilogramele pentru diverse faze de deconectare ale curentului.

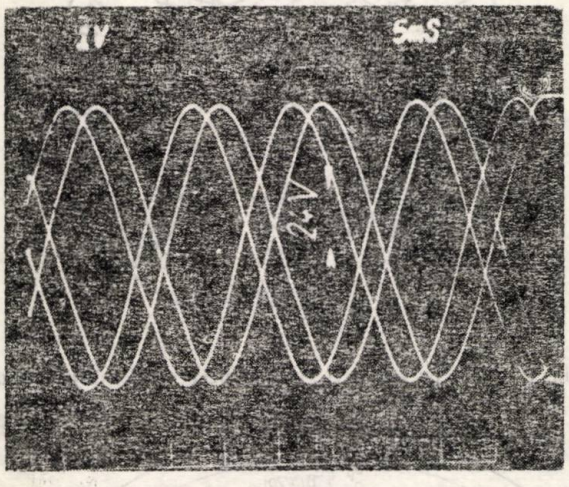


Fig. 7. Oscilogramele pentru diverse faze de conectare ale curentului.

15, 60, 120 și 180 grade electrice. Se observă că pentru fazele 60, 120 grade electrice arcul electric este mult mai intens, așa după cum era de așteptat.

Oscilogramele prezentate în figura 7, reprezintă rezultatele încercărilor pentru diverse faze ale conectării curentului. Încercările au fost efectuate pentru fazele : 0, 75, 120 și 180 grade electrice.

4. Concluzii

Așa cum rezultă în cele arătate mai sus, dispozitivul conceput și realizat permite :

a. Încercarea contactelor sub sarcină.

b. Stabilirea uzurii electrice a contactelor datorită migrației brute și a arderii materialului.

c. Stabilirea performanțelor este posibilă prin compararea diverselor tipuri de contacte, folosind interpretări statistice, [8, 9].

d. Reproduce cu fidelitate încercări sub sarcină pentru un anumit curent de încercare, la un anumit cos φ.

e. Conectarea și deconectarea curentului se face cu controlul fazei în 0 și 180 grade electrice.

f. Funcționarea în regim repetitiv, („AUTOMAT"), numărul de cicluri putînd fi contorizat în funcție de timpul unui ciclu precum și în regim de încercări singulare („SINGLE"),

g. Îndeplinirea parțială a funcțiilor unui programator într-o stație de încercări.

Bibliografie

[1] *Hortopan, G.* Aparate electrice. București, Editura didactică și pedagogică, 1980.

[2] STAS 553/73. Aparate de comutație pînă la 1 000 V c.a. și pînă la 3 150 A, c.c. și c.a.

[3] STAS 4479/74. Contactoare și ruptoare de joasă tensiune.

[4] CEI — Publication 157-1, 1973, Apareillage à basse tension.

[5] Standard method of life of electrical contact materials. Designation : B 182—49 (Reapproved 1970) — SUA.

[6] *Trușcă, V., Mihai, M., Stan, C.* Programator electronic pentru stația de încercări la capacitatea de comutație. In : E.E.A. — Electrotehnica **30**, nr. 7, oct 1982, p. 313.

[7] *Trușcă, V., Diaconescu, T.B.* Simulator electronic pentru stații de încercări directe. In : E.E.A. — Electrotehnica **31**, nr. 7, oct 1983, p. 293.

[8] *Panaite, Val.* Curs de statistică și fiabilitate. I.P.B. 1980.

[9] Bulletin Technique nr. 89. Creation de la qualité et de la fiabilité telemecanique électrique.

CZ 538.12 : 621.3.013 : 621.313.3

CÎMP MAGNETIC
MOTOARE SINCRONE
ELEMENT DE FRONTIERĂ

Calculul cîmpului magnetic inductor la motoarele sincrone cu magneți ceramici prin metoda elementului de frontieră

NICOLAE VASILE* — BUCUREȘTI

Introducere

În ultimul timp motoarele sincrone cu magneți permanenți se bucură de o atenție deosebită din partea cercetătorilor, proiectanților și utilizatorilor de mașini electrice, deoarece utilizarea magneților permanenți permite realizarea unor mașini de construcție simplă, cu o fiabilitate crescută, cu dimensiuni și greutate reduse.

Dintre mașinile electrice cu magneți permanenți o clasă importantă o constituie motoarele sincrone cu magneți permanenți, care, pe lîngă avantajele enumerate mai sus, mai prezintă și pe acela că nu au contacte alunecătoare.

Calculul cîmpului magnetic inductor și influența fluxurilor demagnetizante asupra acestuia, calculul cîmpului de dispersii, sînt importante probleme pe care le ridică concepția acestor motoare.

Din punct de vedere constructiv, configurația geometrică rotorică diferă după materialul magnetic utilizat, astfel încît să se asigure suprafață mare și înălțime mică pentru magneții ceramici, respectiv suprafață mică și înălțime mare pentru magneții metalici, rezultate din înseși caracteristicile magnetice ale acestora.

În acest articol se face calculul cîmpului magnetic inductor și al cîmpului magnetic de dispersii rotorice pentru motoarele sincrone cu magneți permanenți ceramici.

Metoda de calcul a cîmpului magnetic utilizează potențialul magnetic scalar, problema reducîndu-se la integrarea unei ecuații de tip Laplace.

Metoda de integrare folosită este cea a *elementului de frontieră*, metodă numerică ce prezintă o serie de avantaje față de cele numerice cunoscute.

1. Stabilirea domeniului de integrare și a condițiilor de frontieră

Dintre soluțiile constructive de motoare sincrone cu magneți permanenți ceramici, cea mai des întîlnită este cea prezentată în figura 1, cu magneții plasați pe rază și material nemagnetic în zona de la baza magneților spre ax.

Datorită simetriei prezentate de secțiunea transversală rotorică, pentru a avea un domeniu de integrare cît mai simplu, dar care să

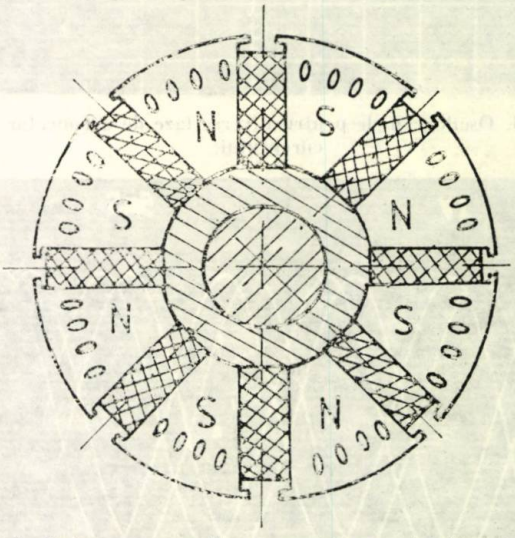


Fig. 1. Rotor cu magneți permanenți ceramici dispuși radial

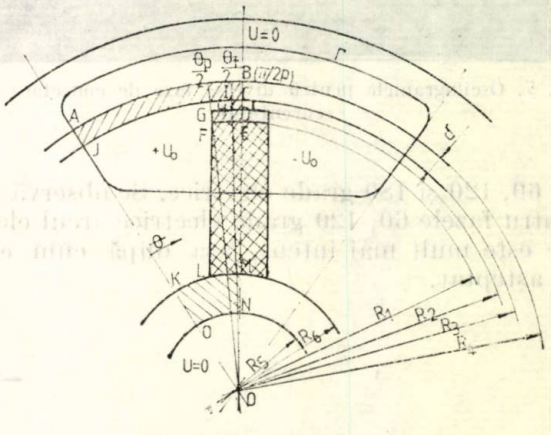


Fig. 2. Domeniul de integrare.

conțină toate informațiile necesare, se alege domeniul întins doar pe o jumătate de pas polar, delimitat în figura 2 de conturul ABCDEFGHIJA.

Pentru calculul cîmpului magnetic se utilizează metoda integrării ecuației Laplace în

* Ing. *Vasile, N.* — Institutul de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică (ICPE) — București.

potențial magnetic scalar. Pentru ușurarea stabilirii condițiilor de frontieră, se fac următoarele ipoteze :

— se consideră permeabilitatea magnetică a fierului $\mu_{Fe} = \infty$;

— se consideră că porțiunea din întrefier a axei polilor face parte dintr-o linie de cîmp.

În baza ipotezelor de mai sus, condițiile de frontieră, cu notațiile din figura 2, sînt următoarele :

$$U|_{AB} = 0, \tag{1}$$

toată armătura statorică fiind la potențial magnetic scalar nul, iar din motive de simetrie :

$$U|_{BC} = U|_{CD} = U|_{DE} = 0. \tag{2}$$

Considerînd pe porțiunile EF și JA că potențialul magnetic scalar variază liniar, iar armătura metalică are potențialul magnetic scalar constant și egal cu U_0, restul condițiilor de frontieră sînt :

$$U|_{EF} = \frac{\left(\frac{\pi}{2p} - 0\right)}{\left(\frac{\pi}{2p} - \frac{\theta_p}{2}\right)} U_0 ; \quad \theta_p/2 \leqslant 0 < \pi/2p, \tag{3}$$

$$U|_{FG} = U|_{GH} = U|_{HI} = U|_{IJ} = U_0, \tag{4}$$

$$U|_{JA} = \frac{R - R_4}{R_3 - R_4} U_0 ; \quad R_3 \leqslant R < R_4. \tag{5}$$

Pentru calculul lui U_0 se pornește de la legea fluxului magnetic aplicată pentru o suprafață ce cuprinde o talpă polară :

$$B\delta \cdot S_p \cdot \sigma = B_m \cdot S_m \tag{6}$$

și legea circuitului magnetic pe curba :

$$2H_\delta \cdot \delta \cdot k_c \cdot k_s = H_m \cdot h_m , \tag{7}$$

unde S_p și S_m sînt ariile suprafețelor polului, respectiv magnetului ; k_c și k_s — coeficienții Carter, respectiv de saturație ; h_m — înălțimea magnetului, iar σ este coeficientul de dispersie, necunoscut.

Dacă se ia în considerație curba de demagnetizare aproximată în cazul magneților din ferită printr-o dreaptă :

$$B_m = \frac{B_r}{H_c}(H_c - H_m), \tag{8}$$

atunci din cele trei relații (6), (7) și (8) și ținînd seama de legătura :

$$B_\delta = \mu_0 H_\delta ; \quad U_0 = H_\delta \cdot \delta = \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot \delta, \tag{9}$$

se obțin cinci relații și șase necunoscute P_m, H_m, B_δ, H_δ σ și U_0, relații din care, eliminînd primele patru necunoscute, se obține în final o relație între σ și U_0 și anume :

$$\sigma = \frac{B_r\left(H_c - 2 k_c k_s \frac{U_0}{h_m}\right)}{\mu_0 \frac{S_p}{S_m} \cdot \frac{U_0}{\delta} \cdot H_c} . \tag{10}$$

Se observă că σ, coeficientul de dispersie, este cu atît mai mic cu cît raportul S_p/S_m este mai mare, în cazul de față cu cît raportul θ_t/θ_p este mai mare. De asemenea, coeficientul de dispersie, după cum reiese din relația (10), este cu atît mai mare cu cît întrefierul este mai mare.

Pe de altă parte, dacă se dau valori lui U_0 și se calculează, funcție de acestea, coeficientul de dispersie σ din formula de definiție a sa :

$$\sigma = \frac{\Phi_u + \Phi_\sigma}{\Phi_u} = \frac{\Phi_r|_{AB} + \Phi_t|_{BE}}{\Phi_r|_{AB}}, \tag{11}$$

unde :

$$\Phi_r|_{AB} = 1 \cdot \int_0^{\theta_t/2} B_r(\theta)\, R_4\, \mathrm{d}\theta, \tag{12}$$

este fluxul util, iar :

$$\Phi_t|_{BE} = 1 \cdot \int_{R_1}^{R_4} B_t(R)\, \mathrm{d}R, \tag{13}$$

este fluxul de dispersie dintre cei doi poli, aceste integrale calculîndu-se după integrarea ecuației Laplace în coordonate polare pe domeniul ABCDEFGHIJA și deci în fiecare punct din domeniu se cunosc valorile radială, respectiv tangențială ale inducției magnetice.

Relațiile (10) și (11) dau două curbe de variație a lui σ funcție de U_0, iar la intersecția lor se găsesc valorile calculate σ_c și U_{0c}, cu care apoi se determină distribuția cîmpului magnetic în tot domeniul considerat.

2. Prezentarea metodei elementului de frontieră

Se consideră ecuația Laplace :

$$\Delta U = 0, \text{ în domeniul } D, \tag{14}$$

cu condițiile de frontieră :

$$U = \bar{U} \text{ pe } C_1 ; \qquad q = \frac{\partial U}{\partial n} = \bar{q} \text{ pe } C_2, \tag{15}$$

unde $C = C_1 U C_2$ este frontiera domeniului D (figura 3).

Fie C_i o discretizare a frontierei C, $i = 1, 2, \ldots, N$, din care N_1 puncte pe C_1, N_2 puncte pe C_2, iar $N = N_1 + N_2$.

Fie D_i o discretizare a domeniului D, în cazul de față o mulțime de puncte din interiorul domeniului D și un punct $M_i \in D_i U C_i$.

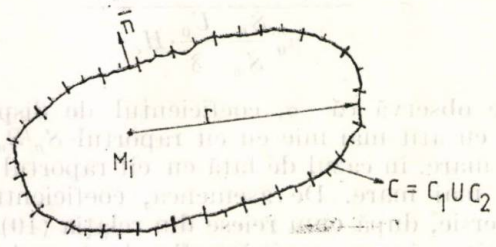


Fig. 3. Modul de divizare a frontierei.

La baza metodei elementului de frontieră se găsește relația :

$$c(M_i)\,U(M_i) + \int_{C_1} Uq^*\,ds + \int_{C_2} U\,q^*\,ds = \int_{C_1} qU^*\,ds + \int_{C_2} qU^*\,ds, \qquad (16)$$

unde : $c(M_i) = \begin{cases} 1 \text{ pentru } M_i \in D_i; \\ 1/2 \text{ pentru } M_i \in C_i; \end{cases}$

iar U^* este soluția fundamentală asociată punctului M_i pentru ecuația Laplace și $q^* = \partial U^*/\partial n$ [1].

Soluția fundamentală U^* verifică ecuația :

$$\Delta U^* + \delta(M_i) = 0, \qquad (17)$$

unde $\delta(M_i)$ este distribuția Dirac calculată în punctul M_i.

Pentru domeniile bidimensionale :

$$U^*(M_i) = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{r}, \qquad (18)$$

unde r este distanța de la punctul M_i la punctul curent de pe frontieră.

În ecuația (16) valorile U și q se presupun constante pe fiecare element și egale cu valoarea în nodul din mijlocul elementului, ecuația devenind :

$$c(M_i)\,U(M_i) + \sum_{j=1}^{N_1} \bar{U}_j \int_{C_{1j}} q^*\,ds + \sum_{j=N_1+1}^{N} U_j \int_{C_{2j}} q^*\,ds = \sum_{j=1}^{N_1} q_j \int_{C_{1j}} U^*\,ds + \sum_{j=N_1+1}^{N} \bar{q}_j \int_{C_{2j}} U^*\,ds. \qquad (19)$$

Pentru $M_i \in C_i$, $i = 1, 2, \ldots, N$ ecuația (19) devine un sistem algebric liniar de N ecuații cu necunoscutele q_j, $j = 1, 2, \ldots, N_1$ și U_j, $j = N_1 + 1, \ldots, N$. Integralele de forma $\int U^* ds$ și $\int q^* ds$ se calculează analitic sau numeric, integranzii fiind cunoscuți.

După rezolvarea sistemului pentru calculul potențialului într-un punct oarecare $M_i \in D_i$ se aplică relația (19), în care U_j, $\bar{U}_j$, q_j, $\bar{q}_j$ sînt de acum cunoscute.

Față de metoda elementului finit și de metoda diferențelor finite metoda elementului de frontieră prezintă avantajul că la același grad de discretizare al frontierei necesită o cantitate mai mică de memorie la calculator.

Prin metoda elementului de frontieră se poate calcula valoarea funcției în orice punct din domeniu, definit prin raza sa vectoare fără ca acest punct să fie prins într-o discretizare prealabilă a domeniului,discretizată fiind numai frontiera domeniului.

3. Calculul cîmpului magnetic util și de dispersii

Pentru aplicarea metodei elementului de frontieră la integrarea ecuației Laplace pe domeniul prezentat în figura 2, se alege discretizarea din figura 4, lucrîndu-se în coordonate polare.

Determinarea integralelor curbilinii :

$$\int_{c_j} q^*\,ds = \int_{c_j} \frac{\partial u^*}{\partial_n}\,ds = \frac{1}{2\pi} \int_{c_j} \frac{\partial [(\ln (1/r)]}{\partial n}\,ds,$$

$$\int_{c_j} U^*\,ds = \frac{1}{2\pi} \int_{c_j} \ln \left(\frac{1}{r}\right) ds, \qquad (20)$$

unde elementele de frontieră c_j sînt arce de cerc (figura 5 a), sau segmente de rază (figura 5 b), iar raza vectoare r se calculează cu formula :

$$r = \sqrt{R^2 + R_p^2 - 2R\,R_p \cos(\theta - \theta_p)}, \qquad (21)$$

s-a făcut numeric.

Trebuie avut în vedere ca pe fiecare porțiune din frontieră să se aprecieze corect sensul normalei $\bar{n}$. S-au calculat, folosind această metodă, valorile inducției magnetice în întrefier și în spațiul dintre poli, dependența acesteia de unghiul geometric, respectiv de înălțimea polului fiind dată în figura 6.

Configurația geometrică prezentată în lucrarea de față a fost realizată și experimentată la ICPE — București în cadrul unei acțiuni de dezvoltare a unei serii de servomotoare de tip sincron, fără contacte alunecătoare, pentru acționarea avansului mașinilor-unelte și a robo-

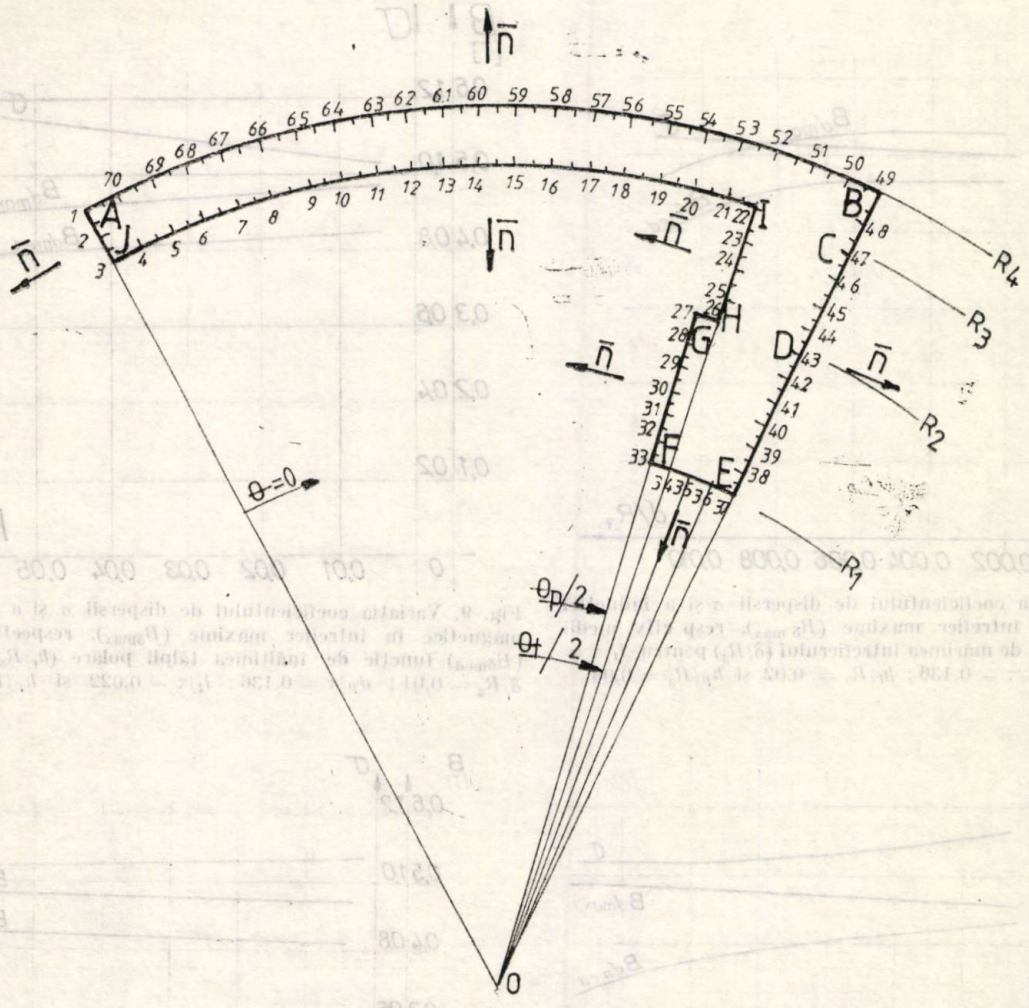


Fig. 4. Discretizarea frontierei domeniului de integrare.

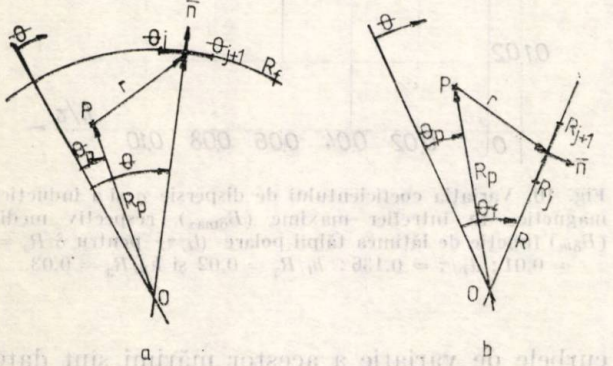


Fig. 5. Forma elementelor de frontieră.

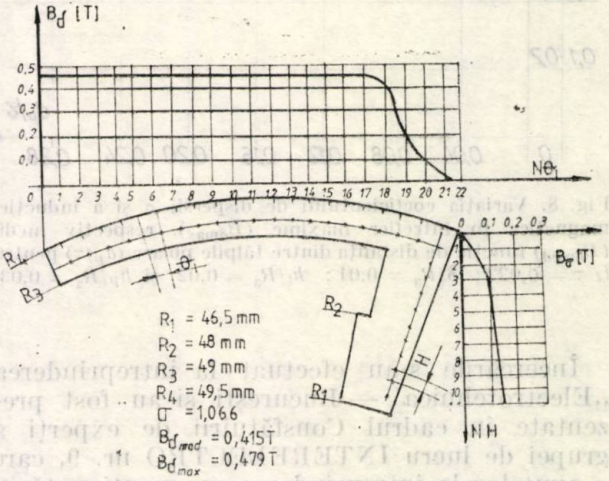


Fig. 6. Distribuția inducției magnetice în întrefier și în circuitul de dispersii.

ților industriali, aceasta fiind prima din cele șase tipodimensiuni preconizate.

Prototipul realizat a corespuns încercărilor, iar valoarea inducției magnetice medii măsurate, corespunde cu valoarea medie calculată prin metoda prezetată în lucrare.

Astfel, valoarea medie a inducției pe pol, calculată în lucrare este de 0,415 T, iar valoarea medie a inducției pe pol rezultată în urma experimentărilor, pornind de la măsurarea tensiunii electromotoare în regim de generator în gol, este de 0,407 T.

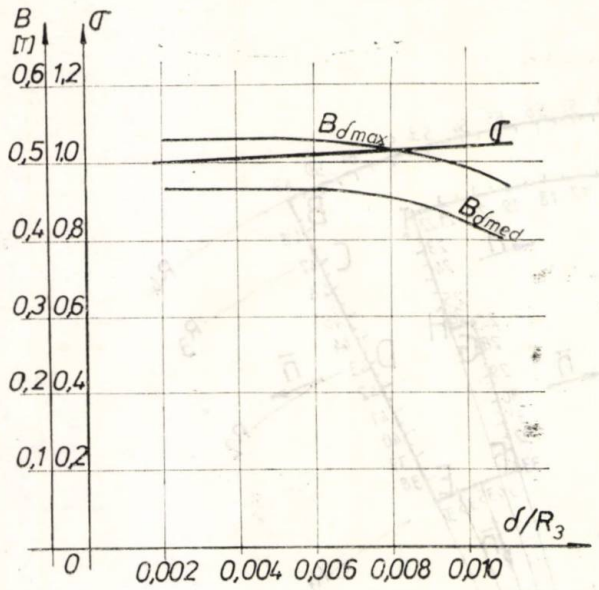


Fig. 7. Variația coeficientului de dispersii σ și a inducției magnetice în întrefier maxime ($B_{\delta max}$), resp ctiv medii ($B_{\delta med}$) funcție de mărimea întrefierului (δ/R_3) pentru $l_t/\tau = 0{,}022$; $d_p/\tau = 0{,}136$; $h_t/R_3 = 0{,}02$ și $h_p/R_3 = 0{,}03$.

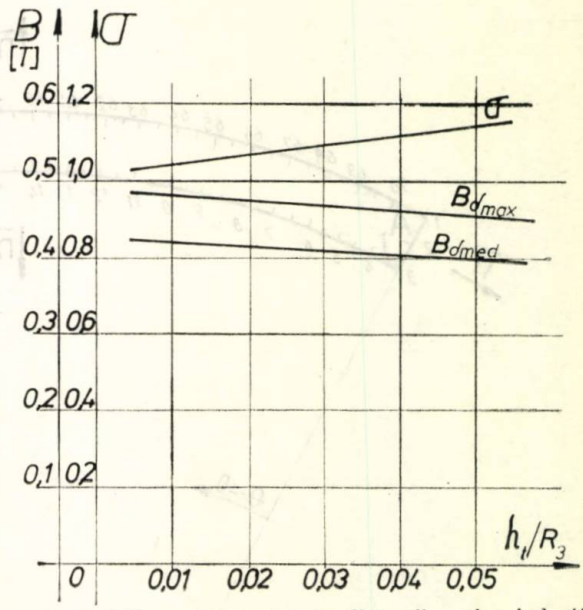


Fig. 9. Variația coeficientului de dispersii σ și a inducției magnetice în întrefier maxime ($B_{\delta max}$), respectiv medii ($B_{\delta med}$) funcție de înălțimea tălpii polare (h_t/R_3) pentru $\delta/R_3 = 0{,}01$; $d_p/\tau = 0{,}136$; $l_t/\tau = 0{,}022$ și $h_p/R_3 = 0{,}03$.

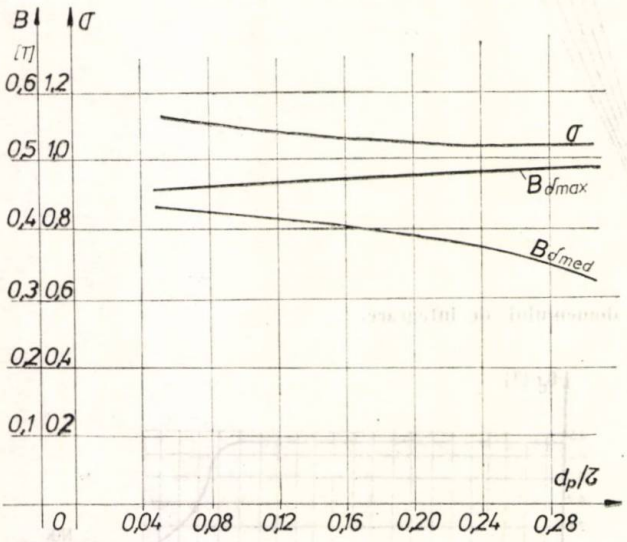


Fig. 8. Variația coeficientului de dispersii σ și a inducției magnetice în întrefier maxime ($B_{\delta max}$), respectiv medii ($B_{\delta med}$) funcție de distanța dintre tălpile polare (d_p/τ) pentru $l_t/\tau = 0{,}022$; $\delta/R_3 = 0{,}01$; $h_t/R_3 = 0{,}02$ și $h_p/R_3 = 0{,}03$.

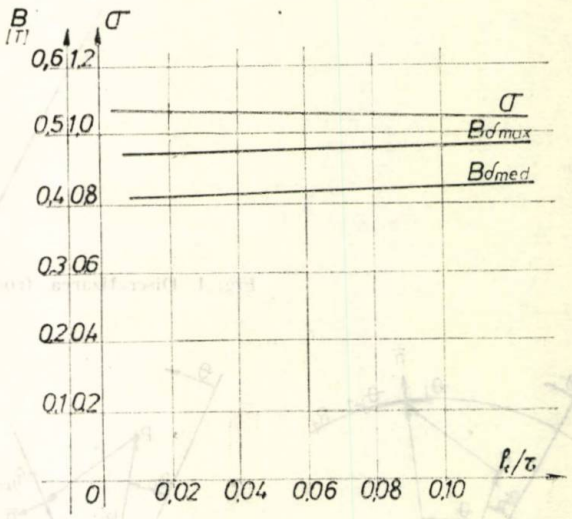


Fig. 10. Variația coeficientului de dispersie σ și a inducției magnetice în întrefier maxime ($B_{\delta max}$), respectiv medii ($B_{\delta m}$) funcție de lățimea tălpii polare (l_t/τ) pentru $\delta/R_3 = 0{,}01$; $d_p/\tau = 0{,}136$; $h_t/R_3 = 0{,}02$ și $h_p/R_3 = 0{,}03$.

Încercările s-au efectuat la întreprinderea „Electrotehnica" — București și au fost prezentate în cadrul Consfătuirii de experți a grupei de lucru INTERELECTRO nr. 9, care a avut loc la întreprinderea sus-menționată în decembrie 1983 [5].

Pentru ca rezultatele să poată fi utilizate de proiectanții acestor tipuri de motoare, valorile inducției magnetice maxime în întrefier ($B_{\delta max}$), ale inducției medii pe pol ($B_{\delta med}$) și coeficientul de dispersie (σ) au fost calculate, pentru diferite dimensiuni ale geometriei rotorice, iar curbele de variație a acestor mărimi sînt date în figurile 7, 8, 9, 10 și 11.

Valorile inducției magnetice au fost calculate pentru un magnet permanent din ferită de stronțiu cu inducția remanentă de 0,35 T și intensitatea cîmpului magnetic coercitiv de 250 kA/m.

Pentru alte materiale magnetice ceramice, la aceeași geometrie, se păstrează atît coeficientul de dispersii σ, cît și raportul $B_{\delta max}/B_{\delta med}$.

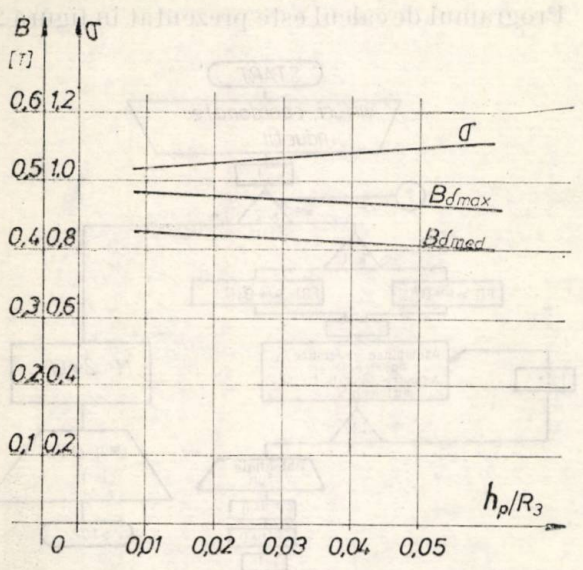


Fig. 11. Variația coeficientului de dispersie σ și a inducției magnetice în întrefier maxime ($B_{\delta max}$), respectiv medii ($B_{\delta med}$) funcție de înălțimea penei magnetului (h_p/R_3) pentru $\delta/R_3=0{,}01$; $d_p/\tau=0{,}136$; $l_t/R_3=0{,}022$ și $h_t/R_3=0{,}02$.

4. Concluzii

Soluția constructivă prezentată și analizată în articolul de față, deși realizează o concentrare a fluxului magnetic, inducția maximă în întrefier $B_{\delta max} > 0{,}47$ T fiind mai mare decît inducția remanentă a magnetului, este caracterizată de un coeficient de dispersii scăzut, datorită suprafețelor de dispersii scăzute, ducînd la o utilizare rațională a materialului magnetic.

Bibliografie

[1] *Brebbia, C.A.* The boundary element method for engineers. Pentech Press, London, Plymouth, 1978.

[2] *Brebbia, A.C. A., Telles, J. C., Wrobel, C.* Boundary element techniques. Berlin, Springer-Verlag, 1984.

[3] *Fransua, Al., Măgureanu, R.* ș.a. Mașini și sisteme de acționări electrice. București, Editura tehnică, 1978.

[4] *Măgureanu, R., Vasile, N.* Motoare sincrone cu magneți permanenți și reluctanță variabilă. București, Editura tehnică, 1983.

[5] * * * Protocolul Consfătuirii de experți ai grupei de lucru INTERELECTRO nr. 9, București, decembrie 1983.

[6] *Măgureanu, R., Vasile, N.* Mașini electrice speciale. Îndrumar de proiectare. Motorul sincron cu magneți permanenți. București, Litografia I.P.B., 1980.

[7] *Vasile, N.* Influența fluxurilor demagnetizante asupra performanțelor motoarelor sincrone cu magneți permanenți. În : E.E.A. — Electrotehnica, **vol. 29**, nr. 2, 1981 p. 79—83.

[8] *Fransua, Al., Vasile, N., Tiba, M.* Calculul numeric al cîmpului magnetic în motoarele sincrone cu magneți permanenți prin metoda elementului de frontieră. Craiova, Conferința națională de electrotehnică și energetică, 1984.

CZ 621.317.7 :621.369

CONTOARE DE INDUCȚIE
METODA ELEMENTELOR FINITE

Momentul cuplului activ la contoarele de inducție trifazate de precizie determinat cu metoda elementelor finite

COSTIN CEPIȘCĂ* — BUCUREȘTI

Introducere

Necesitatea tarifării tot mai exacte a energiei electrice a condus la abordarea și rezolvarea problemei producerii în țară a contoarelor de inducție trifazate de precizie, clasa 1. Proiectînd aceste aparate de măsură s-a constatat că în literatura de specialitate [1 — 4] sînt studiate numai contoarele de inducție monofazate nu și configurațiile geometrice cu două sau trei dispozitive de măsură pe disc.

În lucrare se urmărește a se da un răspuns cantitativ, pe baza modelării cu elemente finite, influenței între dispozitivele de măsură aferente celor trei faze și influenței repartiției inducției magnetice din întrefier asupra calculului momentului cuplului activ.

* Dr. ing. *Cepișcă, C.* — Catedra de măsuri și aparate electrice I. P. București.

1. Metoda de calcul

Circuitele magnetice de curent și tensiune ale unui dispozitiv de măsură (fig. 1) produc în întrefierul, în care se află discul neferomagnetic, inducții magnetice sinusoidale.

Ecuațiile lui Maxwell pentru intensitatea cîmpului electric indus în discul imobil :

$$\text{rot}\,\vec{E} = -\,j\omega\,\vec{B}, \qquad (1)$$

$$\text{div}\,\vec{E} = 0, \qquad (2)$$

permit prin inroducerea potențialului vector $\vec{A}$ să se obțină ecuațiile de tip Poisson îndeplinite de acesta în zonele în care inducțiile magnetice sînt nenule [5] :

— pentru circuitul de tensiune :

$$\Delta(j\underline{A}_U) = \omega \underline{B}_U, \qquad (3)$$
$$\underline{A}_U|_\Gamma = 0,$$

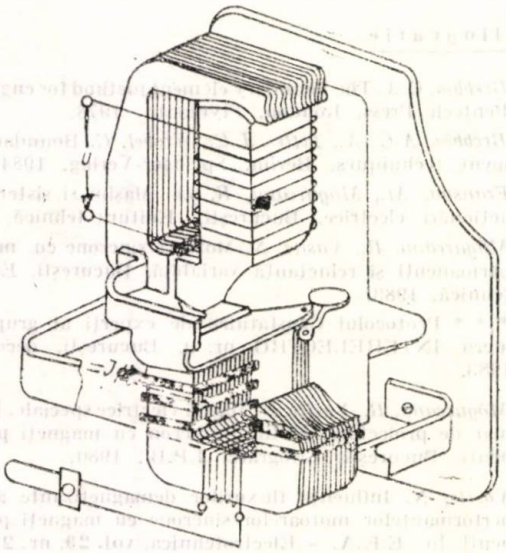


Fig. 1. Dispozitivul de măsură.

— pentru circuitul de curent :

$$\Delta \underline{A}_I = -\omega \underline{B}_I, \qquad (4)$$
$$\underline{A}_I|_\Gamma = 0,$$

unde :

$\underline{B}_U$, $\underline{B}_I$ sînt inducţiile magnetice (în complex) produse de cele două circuite magnetice în zona discului.

Cunoscînd repartiţia potenţialului vector pe întreg domeniul se poate determina repartiţia densităţilor curenţilor induşi :

$$\underline{J}_x = \sigma \frac{\partial \underline{A}}{\partial y}; \quad \underline{J}_y = -\sigma \frac{\partial \underline{A}}{\partial x} \qquad (5)$$

şi momentul cuplului activ :

$$\vec{\mathfrak{M}}_a = \mathfrak{Re}\left\{\iiint_{\mathfrak{D}_\Gamma} (\vec{\underline{J}}_U \times \vec{\underline{B}}_I)\, \delta \mathrm{d}x\, \mathrm{d}y + \right.$$
$$\left. + \iiint_{\mathfrak{D}_\Gamma} (\vec{\underline{J}}_I \times \vec{\underline{B}}_U)\, \delta dx\, dy \right\}, \qquad (6)$$

unde :

δ este grosimea discului.

În rezolvarea acestei probleme plan-paralel s-a utilizat metoda elementelor finite, instrument eficient de analiză numerică, cunoscută şi intens aplicată [5, 6] în diverse situaţii, dar niciodată pînă acum la studiul contoarelor de inducţie.

Programul de calcul este prezentat în figura 2.

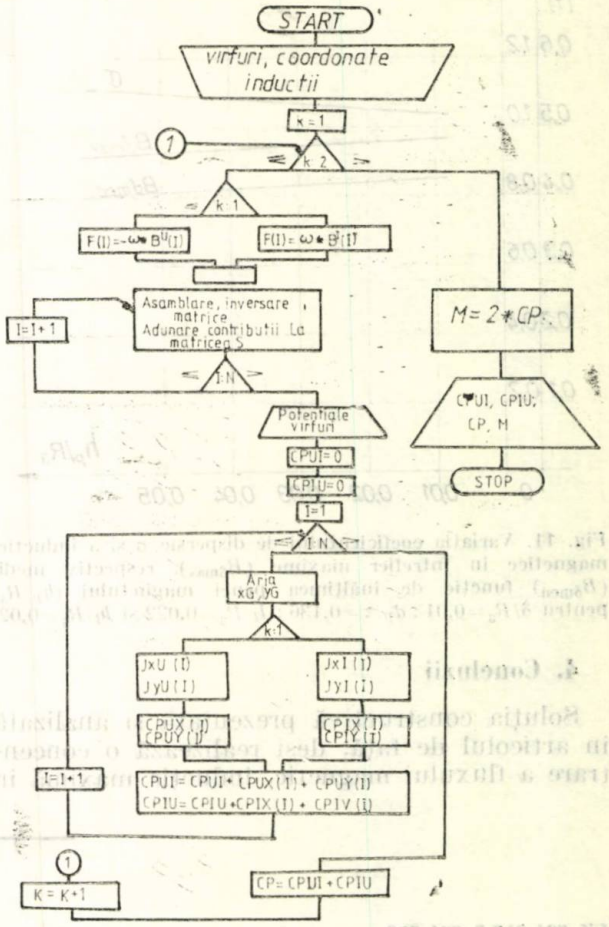


Fig. 2. Programul de calcul pentru momentul cuplului activ prin metoda elementelor finite.

Se determină pentru circuitul de curent şi cel de tensiune potenţialul $\underline{A}$ în nodurile libere şi densităţile de curent :

$$JX(I) = -\sigma\lambda_2, \qquad (7)$$

$$JY(I) = \sigma\lambda_1, \qquad (8)$$

în fiecare subdomeniu triunghiular aparţinînd domeniului $\mathfrak{D}_\Gamma$ (jumătate de disc), potenţialul fiind aproximat în fiecare subdomeniu printr-o funcţie trială de forma :

$$A(x, y) = \lambda_0 + \lambda_1 x + \lambda_2 y, \qquad (9)$$

Componentele cuplului activ corespunzătoare fiecărui triunghi I sînt :

$$CPX(I) = JX(I)^* B(I)^* D^* AR^* XG, \qquad (10)$$

$$CPY(I) = JY(I)^* B(I)^* D^* AR^* YG, \qquad (11)$$

unde :

$B(I)$ este inducţia magnetică în triunghiul I ;
XG, YG — coordonatele centrului de masă al triunghiului ;
AR — aria triunghiului ;
D — grosimea discului.

Momentul cuplului activ total se obţine însumînd componentele corespunzătoare fiecărui triunghi.

2. Determinarea influenţei repartiţiei spaţiale a inducţiei magnetice asupra momentului cuplului activ

Configuraţia geometrică considerată este prezentată în figura 3 şi reprezintă o jumătate a discului neferomagnetic subdivizată în 166 triunghiuri cu 93 noduri din care 84 sînt noduri libere.

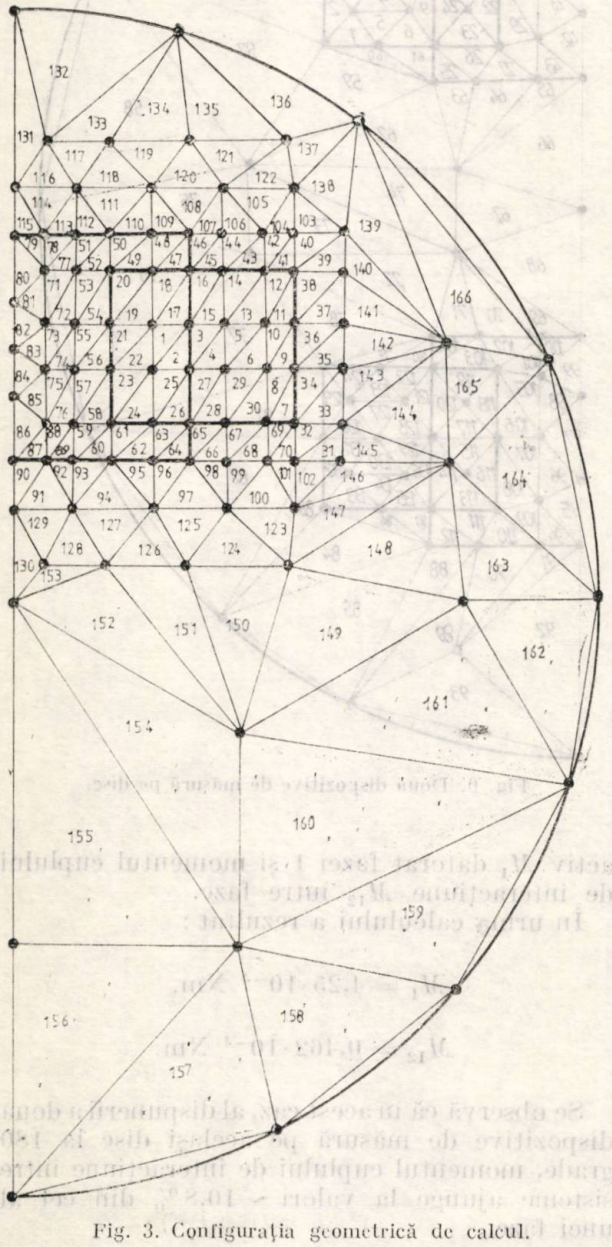


Fig. 3. Configuraţia geometrică de calcul.

Repartiţiile spaţiale pentru inducţiile magnetice $B_I(x, y)$, $B_U(x, y)$ sînt următoarele (fig. 4) :

a — dreptunghiulare după ox şi oy ;
b — dreptunghiulară după ox, trapezoidală după oy ;
c — trapezoidală după x, dreptunghiulară după y ;
d — trapezoidale după x şi y ;
e —reală, determinată prin măsurare (fig. 5).

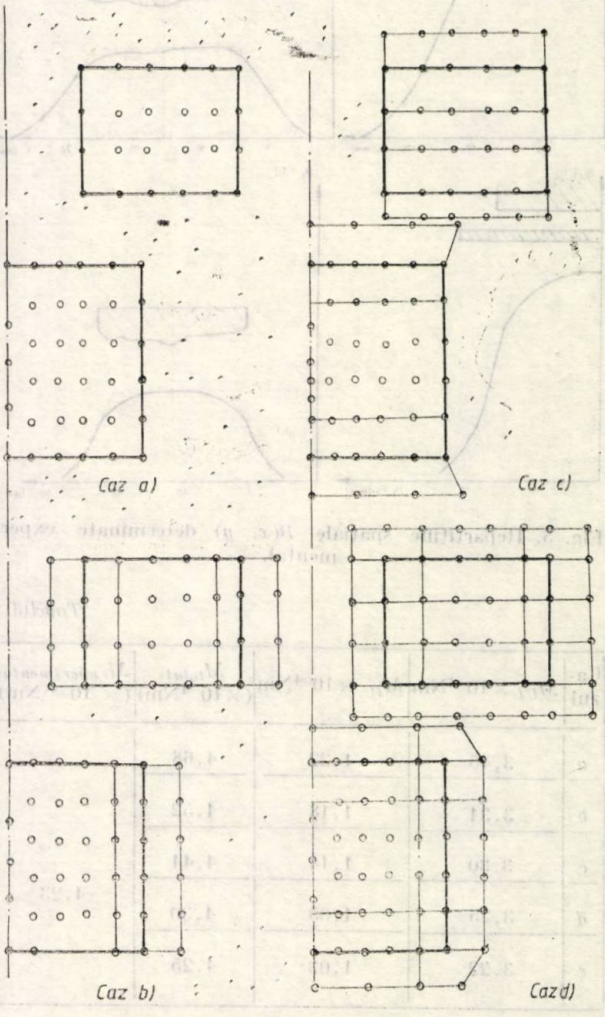


Fig. 4. Repartiţiile spaţiale considerate.

Rezultatele obţinute prin calculul cu metoda elementelor finite în cazurile $a \div e$ sînt prezentate în tabelul 1.

Se observă că folosirea repartiţiei spaţiale *e* a inducţiei magnetice conduce la rezultate apropiate de cele experimentale însă în acest caz este nevoie de un volum de muncă deosebit, în special odată cu o partiţie mai fină.

Considerarea repartiţiei spaţiale dreptunghiulare *a* sub pol (luată în consideraţie în calculele teoretice din literatură pentru obţinerea momen-

tului cuplului activ) conduce la rezultate mult diferite de cele din realitate (~10%).

Relaţiile din literatură obţinute în această ipoteză nu se pot aplica contoarelor de inducţie de precizie clasa 0,5 şi 1, necesitînd metode de calcul care să modeleze mai corect repartiţia spaţială a inducţiei magnetice sub pol.

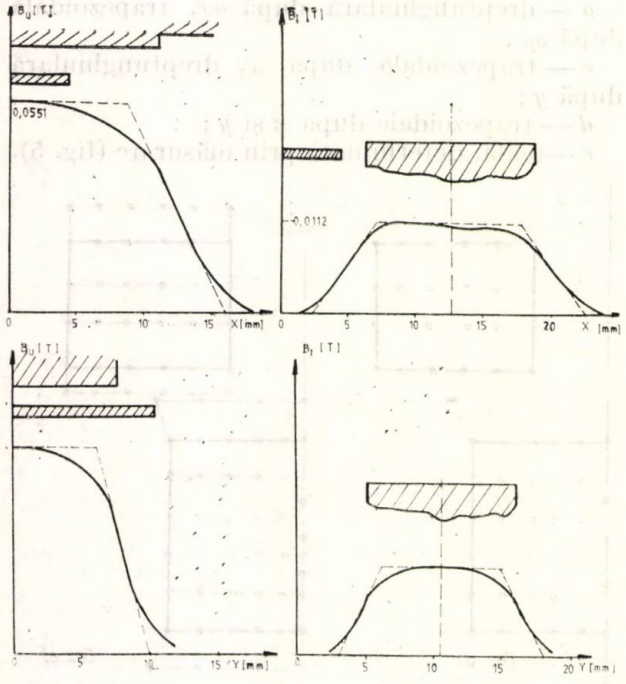


Fig. 5. Repartiţiile spaţiale $B(x, y)$ determinate experimental.

Tabelul 1

Cazul	$M_{UI} \times 10^{-4}$Nm	$M_{IU} \times 10^{-4}$Nm	M_{total} ($\times 10^{-4}$Nm)	$M_{experimental}$ ($\times 10^{-4}$ Nm)
a	3,46	1,22	4,68	4,23
b	3,34	1,18	4,52	
c	3,30	1,14	4,44	
d	3,25	1,05	4,30	
e	3,22	1,03	4,25	

3. Interacţiunea între faze datorită dispunerii dispozitivelor de măsură pe acelaşi disc la contoarele trifazate

Contoarele trifazate de inducţie au în principal dispozitivele de măsură aferente la două faze poziţionate pe disc, dar sînt şi constructori care dispun toate cele trei dispozitive de măsură pe acelaşi disc. În aceste cazuri apar interacţiuni între dispozitivele de măsură aferente diferitelor faze prin intermediul discului, situaţie neabordată teoretic pînă în prezent.

Se studiază cazul dispunerii pe acelaşi disc a două dispozitive de măsură, configuraţia geometrică fiind prezentată în figura 6.

S-au calculat densităţile de curent din fiecare triunghi produse de polii de curent şi tensiune ai fazei 1, calculîndu-se momentul cuplului

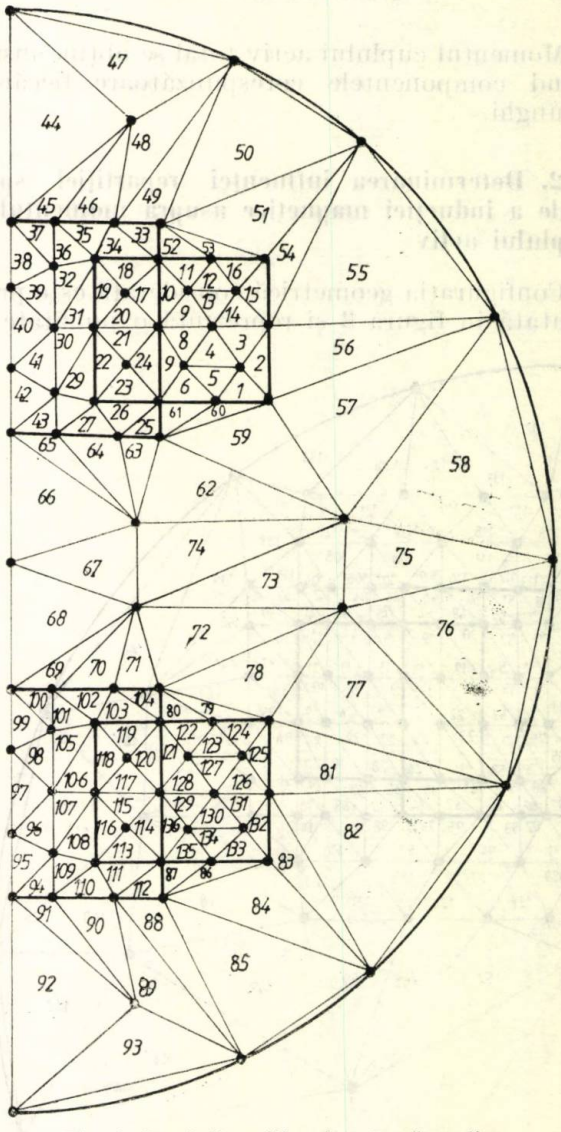


Fig. 6. Două dispozitive de măsură pe disc.

activ M_1 datorat fazei 1 şi momentul cuplului de interacţiune M_{12} între faze.

În urma calculului a rezultat:

$$M_1 = 4{,}25 \cdot 10^{-4} \text{ Nm},$$

$$M_{12} = 0{,}462 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}.$$

Se observă că în acest caz, al dispunerii a două dispozitive de măsură pe acelaşi disc la 180 grade, momentul cuplului de interacţiune între sisteme ajunge la valori ~ 10,8% din cel al unei faze.

4. Concluzii

Pe baza metodei elementelor finite, se studiază aspecte importante din funcţionarea şi proiectarea contoarelor de inducţie trifazate de precizie. Rezultatele obţinute indică o modelare insuficient de corectă a inducţiei magnetice din întrefier prin repartiţie dreptunghiulară, abaterile în acest caz, faţă de realitate fiind de aproximativ 10%. Se impune abordarea analitică a expresiei momentului cuplului activ pentru configuraţii spaţiale mai apropiate de cele reale.

Pentru prima dată în literatura de specialitate se analizează interacţiunea între dispozitivele de măsură de pe acelaşi disc la contoarele trifazate. Valorile momentelor cuplurilor de interacţiune indică necesitatea studierii analitice a acestor tipuri de aparate şi a stabilirii unor noi relaţii de proiectare.

Notaţii utilizate

$\vec{E}$ — intensitatea cîmpului electric indus în disc;
$\vec{B}$ — inducţia magnetică;
$\vec{A}$ — potenţialul vector;
$\underline{B}_U$, $\underline{B}_I$ — inducţiile magnetice create de circuitele magnetice de tensiune şi de curent (în complex);
$\underline{J}_x$, $\underline{J}_y$ — componentele densităţii curentului indus în disc;
m_a — momentul cuplului activ;
δ — grosimea discului;
σ — conductivitatea materialului discului;
M_{UI} — momentul cuplului activ creat prin interacţiunea inducţiei magnetice B_U cu curenţii induşi de circuitul de curent;
M_{IU} — momentul cuplului activ creat prin interacţiunea inducţiei magnetice B_I cu densitatea curenţilor induşi de circuitul de tensiune.

Bibliografie

[1] *Cepişcă, C., Pantelimon, B.* Momentul cuplului activ la contoarele de inducţie trifazate cu capacitate mare de măsurare. In: Electrotehnica 7, 1977.

[2] *Golovanov, C.* Asupra relaţiei de calcul al cuplului activ al contoarelor monofazate de inducţie. In: Electrotehnica **21**, nr. 1, 1973.

[3] *Iliukovici, A. M.* Contoare electrice. Gosenergoizdat, Moscova, 1963.

[4] *Podemski, A.* Teoria aparatelor de inducţie. Autom-Kontrole, 10, 11, 1963.

[5] *Cepişcă, C.* Contribuţii la studiul fenomenelor electromagnetice din aparatele de inducţie. Teză de doctorat. I. P. Bucureşti, 1983.

[6] *Costache, Gh., Slănină, M., Della-Giacomo, E.* Metoda elementelor finite aplicată la probleme Laplaciene plan-paralele. In: Electrotehnica **24**, nr. 2 1976.

[7] *Akin, J., E.* Application on Implementation of Finite Element Methods. Academic Press Sydney, Tokyo, Toronto 1982.

CZ. 621.319.7 : 622.777

TRAIECTORII DE SEPARARE
CÎMP CORONA
ELECTROSEPARATOR CORONA

Traiectorii de separare în cîmp corona

ALEXANDRU IUGA, ROMAN MORAR* — CLUJ-NAPOCA

Introducere

Lucrarea analizează unghiul de desprindere, coeficientul de separabilitate, traiectoriile particulelor minerale şi reprezintă o continuare a cercetărilor asupra procesului de electroseparare, pe modelul experimental ELSEP [1]. Traiectoriile de separare (fig. 1) sînt influenţate de: viteza periferică a cilindrului purtător, cîmpul din zona activă, parametrii particulelor şi prezintă interes deosebit în stabilirea regimului optim de electroseparare a substanţelor nemetalifere [1, 2].

1. Unghiul de desprindere şi coeficientul de separabilitate

Mişcarea particulelor în contact cu cilindrul purtător se examinează pe baza forţelor de electroseparare, care determină viteza de lansare V_0 şi unghiul de desprindere α_d. Ipotezele simplificatoare de calcul sînt următoarele: formă sferică a particulelor, încărcare cu sarcină pînă la valoarea de saturaţie Q_s, alunecare neglijabilă a particulelor pe cilindru şi cîmp cvasiomogen în jurul particulei [3].

Sarcina de saturaţie Q_s a particulelor sferice cu raza a, conductivitatea σ şi permitivitatea relativă ε_r are expresia [1]:

$$Q_s = 4\pi\varepsilon_0 a^2 k_s k_{\varepsilon f} E_0, \qquad (1)$$

unde:

$k_s = Q_s/Q_M = f(\sigma)$ este factorul de saturaţie, $k_{\varepsilon f} = 3\varepsilon_r/(\varepsilon_r + 2) = f(\varepsilon_r)$ — coeficientul de permitivitate şi formă a particulei, iar E_0 — intensitatea cîmpului electric la suprafaţa cilindrului.

* Dr. ing. Alexandru Iuga şi dr. ing. Roman Morar — Catedra de electrotehnică, I. P. Cluj-Napoca.

Particulele se mișcă sincron cu cilindrul:

$$\omega_p = V/R = \mathrm{d}\alpha/\mathrm{d}t = \omega = V/R, \qquad (2)$$

astfel că în momentul desprinderii, viteza de lansare este egală cu viteza periferică a cilindrului de rază R și turație n, rot/s;

$$V_0 = 2\pi\, nR, \text{ m/s}. \qquad (3)$$

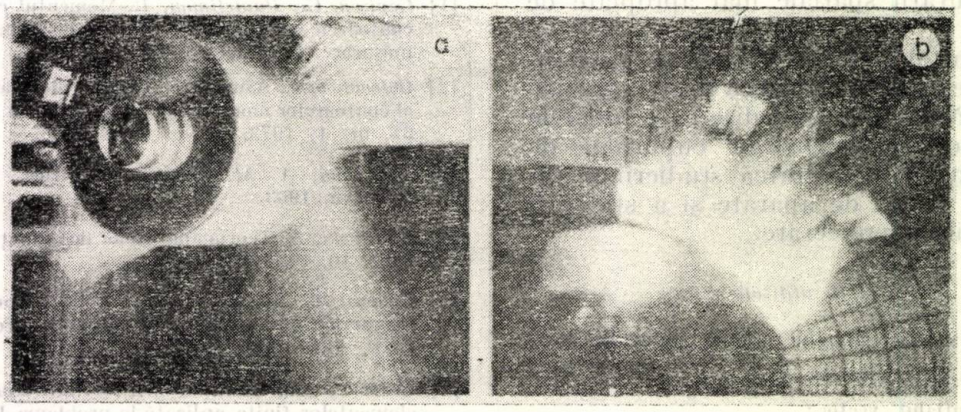


Fig. 1. Traiectorii ale particulelor (a) și cîmpul corona (b) în electroseparatorul ELSEP.

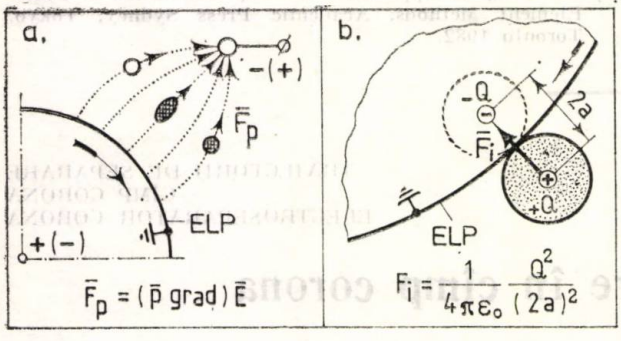


Fig. 2. Forța cîmpului neomogen (a) și forța imagine (b) în separatorul corona; ELP-electrod legat la pămînt.

Neglijarea alunecării implică, de asemenea, anularea componentei tangențiale F_τ a forței rezultante $\bar{F} = F_\tau\bar{\tau} + F_\nu\bar{\nu} \simeq F_\nu\bar{\nu}$.

În cîmpul cvasiomogen de la suprafața cilindrului, forța ponderomotoare (fig. 2a):

$$\bar{F}_p = (\bar{p}\ \mathrm{grad})\,\bar{E} = 2\pi\varepsilon_0 a^3\,\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2}\,\mathrm{grad}\,E^2, \qquad (4)$$

are valoare neglijabilă în raport cu celelalte forțe.

Unghiul de desprindere se determină pe baza ecuației de echilibru a forțelor radiale $F_\nu = 0$ [4]:

$$F_Q + F_i - F_p - F_c + F_G\cos\alpha_d = 0. \qquad (5)$$

Dacă se substituie forțele F_Q, F_i, F_c, F_G prin expresiile cunoscute pentru particule de formă sferică, rezultă:

$$Q_s E_0 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_s^2}{(2a)^2} - F_p - \frac{4\pi a^3}{3}\gamma\frac{V^2}{R} - \frac{4\pi a^3}{3}\gamma g\cos\alpha_d = 0. \qquad (6)$$

Neglijînd forța F_p și ținînd seama de relația (1), se obține expresia unghiului de desprindere:

$$\cos\alpha_d = \frac{V^2}{gR} - \frac{3\varepsilon_0}{4g}E_0^2\frac{k_s k_{\varepsilon f}}{a\gamma}(k_s k_{\varepsilon f} + 4). \qquad (7)$$

Coeficientul de separabilitate S_0, utilizat de autori:

$$S_0 = \frac{k_s k_{\varepsilon f}}{a\gamma}(k_s k_{\varepsilon f} + 4) = f(\sigma, \varepsilon_r, a, \gamma), \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{kg}}, \qquad (8)$$

ia în considerație principalele proprietăți electrice σ, ε_r și mecanice a, γ ale particulelor minerale. Două particule minerale cu valori S_0 distincte se desprind de cilindrul purtător la unghiuri α_d diferite și, în consecință, pot fi separate în cîmp electric.

Unghiul de desprindere este influențat de parametrii de reglaj ai electroseparatorului (E_0, n, R), iar prin coeficientul de separabilitate S_0 de proprietățile mineralelor:

$$\cos\alpha_d = \frac{V^2}{gR} - \frac{3\varepsilon_0}{4g}E_0^2 S_0 = \frac{4\pi^2}{g}Rn^2 - \frac{3\varepsilon_0}{4g}E_0^2 S_0. \qquad (9)$$

În tabelul 1 este prezentat intervalul de variație a mărimilor S_0, α_d, pentru diferite valori ale parametrilor $k_s = f(\sigma)$, $k_{\varepsilon f} = f(\varepsilon_r)$, a, γ și un anumit regim de lucru al electroseparatorului ELSEP.

Tabelul 1

Coeficientul de separabilitate S_0 și unghiul de desprindere α_d pentru diferite valori ale parametrilor particulelor

k_S [-]	S_0 [m²/kg]	α_d [°]	k_{ef} [-]	S_0 [m²/kg]	α_d [°]	a [m]	S_0 [m²/kg]	α_d [°]	γ [kg/m³]	S_0 [m²/kg]	α_d [°]
0,3	2,27	53°	2	3,34	93°	$0,3\cdot10^{-3}$	6,83	177°	2000	6,24	145°
0,4	3,17	90°	2,25	3,85	100°	$0,4\cdot10^{-3}$	5,20	123°	2500	4,99	119°
0,5	4,16	105°	2,4	4,17	105°	$0,5\cdot10^{-3}$	4,16	105°	3000	4,16	105°
0,6	5,22	123°	2,5	4,38	109°	$0,75\cdot10^{-3}$	2,77	84°	3500	3,57	96°
0,7	6,36	148°	2,9	5,29	124°	$1\cdot10^{-3}$	2,08	73°	4000	3,12	89°
$S_0 = 3,84k_S^2 + 6,4k_S$			$S_0 = 0,17k_{ef}^2 + 1,33k_{ef}$			$S_0 = 2,08\cdot10^{-3}/a$			$S_0 = 12,48\cdot10^3/\gamma$		
Mărimi invariante : $k_S = 0,5$; $k_{ef} = 2,4$; $a = 0,5\cdot10^{-3}$ m ; $\gamma = 3000$ kg/m³											

2. Traiectoriile particulelor după desprindere

Mișcarea particulelor minerale, pe porțiunea cuprinsă între cilindru și colectorul de produse, se caracterizează prin formele traiectoriilor și prin vitezele pe traiectorii. Rezultanta $\bar{F}$ a forțelor electrice și mecanice influențează direct traiectoriile particulelor $\bar{F} = m(d^2\bar{r}/dt^2)$.

Calculul traiectoriilor are la bază două ipoteze simplificatoare : a) formă sferică a particulelor ; b) neglijarea forței rezistente a aerului și a forței cîmpului F_Q. Astfel, studiul mișcării se reduce la translația centrului de greutate sub influența forței gravitaționale, conform ecuațiilor :

$$m\frac{d^2\bar{r}}{dt^2} = \bar{F}_G, \text{ sau } \frac{d^2\bar{r}}{dt^2} = \bar{g}, \qquad (10)$$

$$\bar{r} = \bar{g}t^2/2 + \bar{V}_0 t + \bar{r}_0. \qquad (11)$$

Traiectoria de mișcare a particulei sferice este un arc de parabolă, situat într-un plan vertical, ce conține viteza inițială $\bar{V}_0$ (fig. 3). Ecuațiile traiectoriei și ale vitezei particulei în sistemul de referință cartezian xO_1y, cu ori-

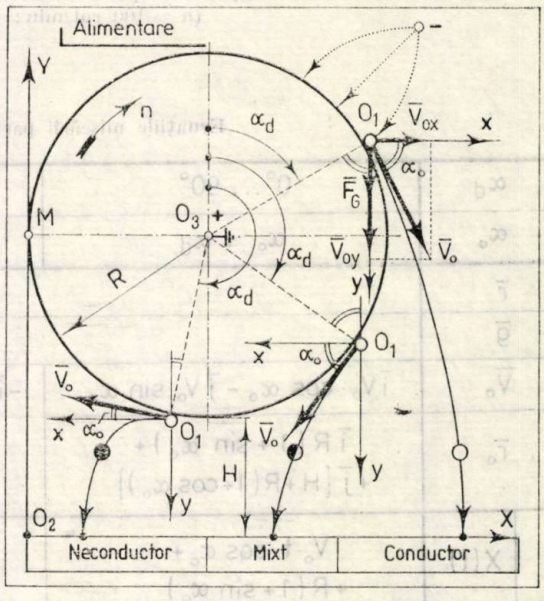


Fig. 3. Traiectorii ale particulelor sferice în raport cu axele xO_1y și XO_2Y ; α_d — unghi de desprindere ; $\bar{V}_0$ — viteza inițială a particulelor.

Ecuațiile mișcării particulelor minerale în sistemul xO_1y *Tabelul 2*

α_d	α_o	V_{ox}	V_{oy}	Ecuațiile traiectoriei $x(t)$; $y(t)$	Ecuațiile traiectoriei $y(x)$	$V_x = \frac{dx}{dt}$	$V_y = \frac{dy}{dt}$	V
0°...90°	α_d	$V_o\cos\alpha_o$	$V_o\sin\alpha_o$	$x = V_o t\cos\alpha_o$ $y = \frac{gt^2}{2} + V_o t\sin\alpha_o$	$y = \frac{gx^2}{2V_o^2\cos^2\alpha_o} + x\,tg\,\alpha_o$	$V_o\cos\alpha_o$	$gt + V_o\sin\alpha_o$	$\sqrt{V_o^2 - 2gy}$ = $\sqrt{V_x^2 + V_y^2}$
90°...180°	$180° - \alpha_d$							
180°...270°	$\alpha_d - 180°$		$-V_o\sin\alpha_o$	$x = V_o t\cos\alpha_o$ $y = \frac{gt^2}{2} - V_o t\sin\alpha_o$	$y = \frac{gx^2}{2V_o^2\cos^2\alpha_o} - x\,tg\,\alpha_o$		$gt - V_o\sin\alpha_o$	

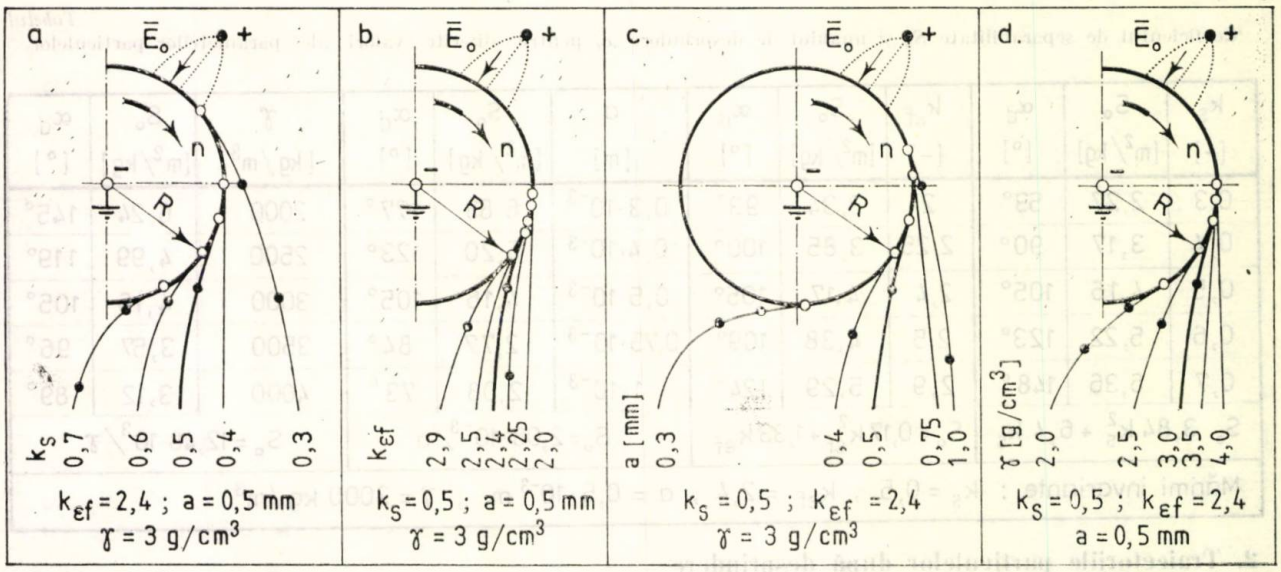


Fig. 4. Traiectorii în cîmp corona pentru diferite valori ale parametrilor electrici și mecanici ai particulelor ($n = 100$ rot/min ; $R = 75$ mm ; $E_o = 6{,}26$ kV/cm).

Ecuațiile mișcării particulelor minerale în sistemul XO_2Y *Tabelul 3*

α_d		$0° \dots 90°$	$90° \dots 180°$	$180° \dots 270°$
α_o		$\alpha_o = \alpha_d$	$\alpha_o = 180° - \alpha_d$	$\alpha_o = \alpha_d - 180°$
$\bar{r}$		$\bar{i}X + \bar{j}Y$		
$\bar{g}$		$-\bar{j} \cdot g$		
$\bar{V}_o$		$\bar{i}V_o \cdot \cos\alpha_o - \bar{j}V_o \sin\alpha_o$	$-\bar{i}V_o \cdot \cos\alpha_o - \bar{j}V_o \sin\alpha_o$	$-\bar{i}V_o \cdot \cos\alpha_o + \bar{j}V_o \cdot \sin\alpha_o$
$\bar{r}_o$		$\bar{i}R(1+\sin\alpha_o) + \bar{j}[H+R(1+\cos\alpha_o)]$	$\bar{i}R(1+\sin\alpha_o) + \bar{j}[H+R(1-\cos\alpha_o)]$	$\bar{i}R(1-\sin\alpha_o) + \bar{j}[H+R(1-\cos\alpha_o)]$
Ecuațiile traiectoriei	$X(t)$	$V_o \cdot t \cdot \cos\alpha_o + R(1+\sin\alpha_o)$	$-V_o \cdot t \cdot \cos\alpha_o + R(1+\sin\alpha_o)$	$-V_o \cdot t \cdot \cos\alpha_o + R(1-\sin\alpha_o)$
	$Y(t)$	$-gt^2/2 - V_o t \sin\alpha_o + H + R(1+\sin\alpha_o)$	$-gt^2/2 - V_o t \sin\alpha_o + H + R(1-\cos\alpha_o)$	$-gt^2/2 + V_o t \sin\alpha_o + H + R(1-\cos\alpha_o)$
	$Y(X)$	$-\frac{g[X-R(1+\sin\alpha_o)]^2}{2V_o^2\cos^2\alpha_o} - [X-R(1-\sin\alpha_o)]\operatorname{tg}\alpha_o + H + R(1+\cos\alpha_o)$	$-\frac{g[-X+R(1+\sin\alpha_o)]^2}{2V_o^2\cos^2\alpha_o} - [-X+R(1+\sin\alpha_o)]\operatorname{tg}\alpha_o + H + R(1-\cos\alpha_o)$	$-\frac{g[-X+R(1-\sin\alpha_o)]^2}{2V_o^2\cos^2\alpha_o} + [-X+R(1-\sin\alpha_o)]\operatorname{tg}\alpha_o + H + R(1-\cos\alpha_o)$
$V_X = \frac{dX}{dt}$		$V_o \cos\alpha_o$	$-V_o \cos\alpha_o$	
$V_Y = \frac{dY}{dt}$		$-gt - V_o \sin\alpha_o$		$-gt + V_o \sin\alpha_o$
V		$\sqrt{V_o^2 - 2g[Y - H - R(1+\cos\alpha_o)]}$	$\sqrt{V_o^2 - 2g[Y - H - R(1-\cos\alpha_o)]}$	

ginea O_1 în punctul de desprindere, sînt următoarele :

$$y = \pm x \operatorname{tg} \alpha_0 + gx^2/(2V_0^2 \cos^2 \alpha_0), \quad (12)$$

$$V = [(V_0 \cos \alpha_0)^2 + (gt \pm V_0 \sin \alpha_0)^2]^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Semnele duble ($\pm$), din relațiile (12), (13), corespund orientării descendente ($\alpha_d = 0° \ldots 180°$) sau ascendente ($\alpha_d = 180° \ldots 270°$) a vitezei inițiale V_0, iar unghiul α_0 se determină în funcție de α_d cu expresiile din tabelul 2.

Fasciculele de traiectorii, calculate cu relația (12), pentru particule cu viteza inițială $V_0 = 2\pi nR = 0{,}785$ m/s, sînt reprezentate în figura 4. Unghiul de desprindere, determinat cu relația (7) are valori cuprinse în intervalul $0 \ldots 270°$ (tab. 1).

b. Modificarea traiectoriilor se poate comod realiza prin intermediul turației n și al razei R a cilindrului purtător. Parametrii n, R determină viteza de lansare a particulelor $V_0 = 2\pi nR$ și valoarea unghiului de desprindere.

c. Calculul traiectoriilor s-a realizat pe un model simplificat al procesului de electroseparare. Traiectoriile reale ale particulelor se pot studia numai experimental, pe separatoare de laborator.

d. Electroseparatorul de cercetare ELSEP [5], prevăzut cu 30 electrozi activi diferiți, turație variabilă $n = (0 \ldots 10)$ rot/s și cu cilindri interschimbabili $R = 75 - 100 - 125$ mm, permite reglajul în limite largi al forțelor de separare, forțe ce influențează traiectoriile particulelor [6].

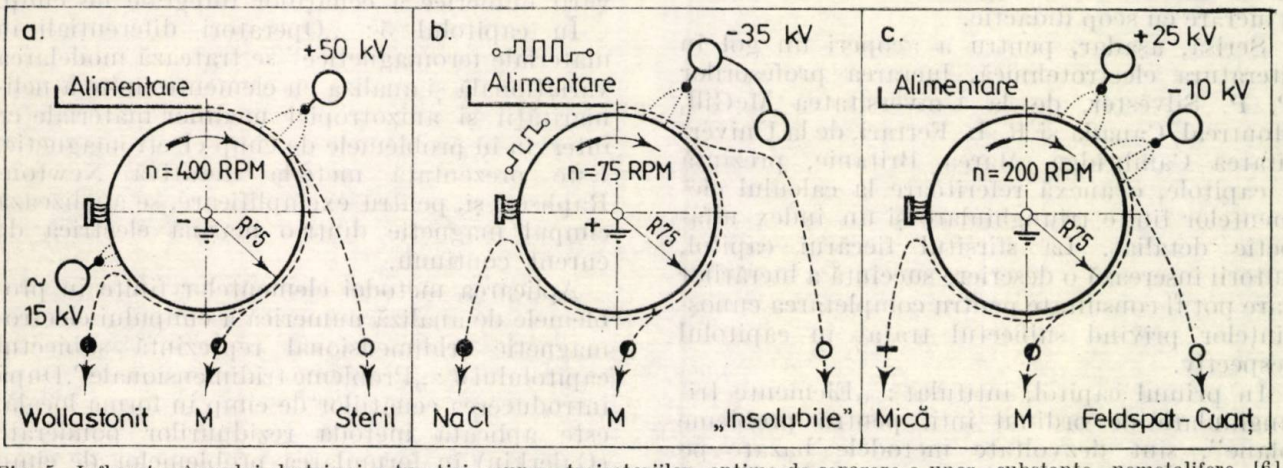


Fig. 5. Influența cîmpului electric și a turației asupra traiectoriilor optime de separare a unor substanțe nemetalifere [6] : a — cîmp corona ; b — cîmp corona-electrostatic ; c — cîmp corona cu două zone de sarcină spațială.

Traiectoriile particulelor se evidențiază și în sistemul XO_2Y, cu originea situată în planul de colectare și axa O_2Y tangentă cilindrului în punctul M (fig. 3). Ecuațiile traiectoriilor $X(t)$, $Y(t)$, $Y(X)$ și expresiile vitezei V a particulelor sînt prezentate în tabelul 3. Două particule minerale, cu abscise X_C diferite în planul de colectare a produselor, pot fi separate în cîmp electric. În primul cadran ($\alpha_d = 0° \ldots 90°$), abscisa punctului de colectare X_C, rezultă din ecuația traiectoriei $Y(X)$, pentru $Y = 0$ [1, p. 39] :

$$\frac{g[X_C - R(1 + \sin \alpha_0)]^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha_0} + [X_C - R(1 + \sin \alpha_0)] \operatorname{tg} \alpha_0 - H - R(1 + \cos \alpha_0) = 0. \quad (14)$$

3. Concluzii

a. Unghiul de desprindere α_d și implicit, traiectoriile diferitelor particule minerale sînt influențate, conform relației (9), de valoarea cîmpului corona E_0(fig. 5).

Bibliografie

[1] *Iuga, Al.* Contribuții la studiul cîmpului electric în electroseparatoare. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Iași, 1984.

[2] *Constantinescu, I., Sârbu, R.* Dinamica mișcării granulelor minerale în separatoarele electrice pe traiectorii curbilinii. În : Mine, petrol și gaze, **34**, nr. 2, 1983, p. 75—77.

[3] *Cakir, I., Rozelaar, A.J.W., Wells, I. P.* A preliminary analysis of the mechanical forces acting on particle on the rotor of an electrical separator. În : 12 th International Mineral Processing Congress, Sao Paolo, Brazil, **1**, 1977, p. 47—74.

[4] *Morar, R., Iuga, Al.* On the influence of speed and roll radius of the corona separators in the high tension separation of particles. În : The Second National Conference on Electrical Drives, Cluj-Napoca, PROCEEDINGS, 1980, p. A—139 ... A—143.

[5] *Iuga, Al., Morar, R.* Research corona-electrostatic separator (Performance, control and drive). În : The Third National Conference on Electrical Drives, Brașov, PROCEEDINGS, 1982, p. A—39 ... A—44.

[6] *Morar, R., Iuga, Al., Neamțu, V., Toth, I., Maschek, Dietlind, Cugleșan, I.* Electroseparatoare cu cîmp corona-electrostatic. Particularități constructive și posibilități de aplicare la separarea substanțelor nemetalifere. În : Lucrările simpozionului „Valorificarea substanțelor nemetalifere", Cluj-Napoca, **vol. 2**, 1983, p. 99—107.

RECENZIE

P. P. Silvester, R. L. Ferrari: Finite Elements for Electrical Engineers (Elemente finite pentru electrotehnicieni). Cambridge University Press, Cambridge, 1983, 209 pag.

Lucrarea se adresează studenților și inginerilor de profil electrotehnic, care doresc să se inițieze în analiza numerică a cîmpului electromagnetic. În acest sens ea reprezintă primul manual universitar dedicat aplicației metodei elementelor finite în calculul sistemelor electromagnetice, întrucît lucrarea de referință anterioară : „Finite Elements in Electrical and Magnetic Field Problems" (Elemente finite pentru probleme de cîmp electric și magnetic), apărută în 1980 și editată de M.V.K. Chari și P. P. Silvester,constituie mai mult o monografie de cercetare, decît o lucrare cu scop didactic.

Scrisă, așadar, pentru a acoperi un gol în literatura electrotehnică, lucrarea profesorilor P. P. Silvester, de la Universitatea McGill, Montreal, Canada și R. L. Ferrari, de la Universitatea Cambridge, Marea Britanie, prezintă 7 capitole, o anexă referitoare la calculul elementelor finite triunghiulare și un index alfabetic detaliat. La sfîrșitul fiecărui capitol, autorii inserează o descriere succintă a lucrărilor care pot fi consultate pentru completarea cunoștințelor privind subiectul tratat în capitolul respectiv.

În primul capitol, intitulat : „Elemente triunghiulare de ordinul întîi pentru probleme plane", sînt dezvoltate metodele bazate pe elementul finit triunghiular de ordinul întîi pentru rezolvarea problemelor bidimensionale de cîmp electromagnetic. Sînt exemplificate, de asemenea, principiile de bază ale tuturor metodelor cu elemente finite plane. Astfel, pentru ecuațiile de tip Laplace și Poisson se detaliază exprimarea variațională a funcționalei energetice de extremizat, global și local, discretizarea domeniului de cîmp în elemente finite, introducerea condițiilor de frontieră, precum și construirea efectivă a programului de calcul pentru rezolvarea numerică a sistemului extremizant global.

Capitolul 2 : „Reprezentarea cîmpurilor electromagnetice" constituie o sinteză a teoriei cîmpului electromagnetic macroscopic, punîndu-se un accent deosebit pe introducerea fizică a modelului variațional de cîmp, rezolvabil numeric prin metoda elementelor finite. Sînt tratate, îndeosebi, cazurile cîmpurilor electromagnetice staționare și cvasistaționare plan-paralele și plan-meridiane și al ghidurilor de undă uniforme.

În capitolul 3 : „Elemente triunghiulare pentru ecuația de tip Helmholtz scalară", se dau detalii referitoare la construcția elementelor finite triunghiulare specifice rezolvării ecuației neomogene de tip Helmholtz. Se arată apoi, că, prin particularizări corespunzătoare se pot rezolva, analog, problemele de cîmp descrise de ecuații de tip Laplace, Poisson sau Helmholtz omogene. Sînt introduse, de asemenea, cîteva clase de elemente finite triunghiulare de ordin superior, adecvate analizei ghidurilor de undă și a cîmpurilor staționare axial-simetrice.

Capitolul 4 : „Elemente finite pentru operatori integrali" abordează unul dintre cele mai interesante subiecte ale lucrării și anume, formularea integrală a ecuațiilor cîmpului electrostatic, respectiv magnetostatic și rezolvarea directă a acestora prin metoda elementelor finite. Nu se face, însă, nici o referire la metoda elementului de frontieră, cea mai adecvată rezolvării numerice a ecuațiilor integrale de cîmp.

În capitolul 5 : „Operatori diferențiali în materiale feromagnetice" se tratează modelarea variațională și analiza cu elemente finite a neliniarității și anizotropiei mediilor materiale ce intervin în problemele de cîmp electromagnetic. Este prezentată metoda iterativă Newton-Raphson și, pentru exemplificare, se analizează cîmpul magnetic dintr-o mașină electrică de curent continuu.

Aplicarea metodei elementelor finite în problemele de analiză numerică a cîmpului electromagnetic tridimensional reprezintă subiectul capitolului 6 : „Probleme tridimensionale". După introducerea ecuațiilor de cîmp în forma locală, este aplicată metoda reziduurilor ponderate (Galerkin) în formularea problemelor de cîmp magnetostatic, ca o alternativă la metoda variațională adoptată pînă acum. Sînt, apoi, descrise în detaliu elementele finite tetraedrice și prismatice de ordinul întîi, adecvate rezolvării numerice a problemelor de cîmp tridimensionale.

Ultimul capitol: „Rezolvarea numerică a ecuațiilor cu elemente finite" prezintă tehnicile uzuale de implementare pe calculator digital a algoritmilor specifici metodei elementelor finite. Se analizează modul de discretizare a domeniului de cîmp în elemente finite, numerotarea convenabilă a nodurilor rețelei de partiționare, asamblarea, memorarea și utilizarea matricelor de tip bandă în calculul numeric cu elemente finite.

În ansamblul ei, lucrarea este bine structurată și este redactată clar, coerent și comprehensiv. Ea beneficiază de o tratare științifică riguroasă și, totuși, nepretențioasă matematic, fiind adecvată uzului didactic, dar oferind, în același timp, cunoștințe utile tuturor celor care se interesează de analiza numerică a cîmpului electromagnetic.

Ioan-Adrian Viorel,
Mircea M. Rădulescu

1985 AUG 2 2

E 2040/1

REFERÁLVA

R 1985 JUN 19

Energia

66

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 33 • NR. 4 • MAI 1985

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

Anul 33 Nr. 4 mai 1985

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 537.12 : 535.2

TEHNOLOGII NECONVENŢIONALE
IRADIERE CU ELECTRONI ACCELERAŢI

Tănăsescu, Fl. T. ş.a. : **Tehnologii neconvenţionale bazate pe iradierea cu electroni acceleraţi. (I) Domenii de aplicare.**

E.E.A. — **Electronica 33**, nr. 4, mai 1985, p. 143

Lucrarea prezintă o serie de metode privind aplicaţii ale iradierii tehnologice cu electroni acceleraţi atît în industria electrotehnică, cît şi în alte ramuri industriale (chimie, industrie uşoară, construcţii, agricultură etc.).

CZ 621.313.2 : 621.3

MOTOR DE CURENT CONTINUU
FRÎNARE DINAMICĂ

Saal, C. : **Regimurile tranzitorii de frînare dinamică în sistemele de acţionare cu motor de curent continuu.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 4, mai 1985, p. 153

Se studiază regimurile tranzitorii de frînare dinamică ale sistemelor de acţionare cu motor de curent continuu şi flux de excitaţie, constant, descrise de patru modele matematice liniare de ordinul doi. Se dau transformatele Laplace ale vitezei unghiulare şi a curentului rotoric, ca şi expresiile lor normale temporale, sub forma cea mai simplă. Sînt examinate toate tipurile posibile de funcţionare (aperiodice şi oscilante amortizate). Lucrarea este completată de un exemplu detaliat de calcul.

CD 621.317.7 : 538.5

OSCILOMOTOR ELECTRODINAMIC
MODELARE ANALITICĂ

Darie, S., Coloşi, T., Bălan, H. : **Modelarea analitică şi analiza unui oscilomotor electrodinamic prin relaţii intrare-stare-ieşire**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 4, mai 1985, p. 162

Lucrarea prezintă o modelare analitică simplificată şi analiză prin intermediul variabilelor de stare în formă normală şi canonică pentru oscilomotoarele electrodinamice proiectate, executate şi puse în funcţiune cu destinaţie industrială.

CZ 621.316.17 : 538.221 : 621.3.016

INSTALAŢII ELECTRICE
EXTRAGERE MATERIALE FEROMAGNETICE
ÎNCĂRCĂTURI TEHNOLOGICE

Mereanu, A. ş.a. : **Instalaţii pentru extragerea materialelor feromagnetice din încărcăturile tehnologice.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 4, mai 1985, p. 167

Lucrarea prezintă unele aspecte privind fabricarea instalaţiilor pentru extragerea materialelor feromagnetice din încărcăturile tehnologice. Sînt precizate principalele caracteristici electrice şi mecanice, regulile de verificare a calităţii şi metodele de încercare a instalaţiilor, care se realizează pentru prima dată în ţară.

CZ 621.313.3 : 621.3.015.2

MOTOARE ASINCRONE DE MACARA
VARIATOARE DE TENSIUNE
ALGORITM DE CALCUL

Bartzer, Şt. : **Algoritm de calcul pentru optimizarea puterii motoarelor asincrone de macara alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 4, mai 1985, p. 172

Bazat pe o sinteză a rezultatelor cercetărilor efectuate privind solicitarea termică şi sarcina admisibilă a motoarelor asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare, în lucrare se evidenţiază problemele ridicate de practica proiectării şi exploatării acţionărilor electrice cu astfel de motoare şi echipamente de comandă şi se prezintă algoritmul de calcul pentru rezolvarea optimizată a acestor probleme. Se tratează cazul acţionării unor maşini de lucru cu caracteristica mecanică independentă de turaţie, cum este cel tipic al mecanismelor de ridicare ale macaralelor şi podurilor rulante.

CZ 621.315.616.97 : 621.313.33

COMPONENTE SIMETRICE
MAŞINA ASINCRONĂ
TRADUCTOR

Mihalache, M., Ghiţă, C. : **Traductor rotativ de componente simetrice.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 4, mai 1985, p. 180

În lucrare se descrie o metodă de determinare experimentală a componentelor simetrice, directă şi inversă ale unor sisteme nesimetrice de curenţi sau tensiuni, folosind o maşină asincronă trifazată cu rotorul bobinat.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. ing. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei R. S. România ; prof. dr. ing. C. APETREI ; acad. dr. doc. şt. tehn. ing. A. AVRAMESCU ; ing. I. BĂTRÎNA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. N. BOŢAN ; dr. ing. C. BULUCEA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. S. CĂLIN ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. T. DORDEA ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. S. FLOREA ; prof. dr. ing. M. HÂNGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; prof. dr. ing. S. PUŞCAŞU ; ing. M. SÎRBU ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI

Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 537.12: 535.2

НЕУСЛОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ИЗЛУЧЕНИЕ С УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Тэнэсеску, Фл. Т. и др.: **Неусловные технологии, основанные на излучение с ускоренными электронами. (I) Области применения.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 4, май 1985 г., стр. 143

Работа представляет ряд методов по применению технологического излучения с электронами, как в электротехнической промышленности, так и в других промышленных отраслях (химия, лёгкая промышленность, конструкции, сельское хозяйство и др.).

УДК 621.313.2: 621.3

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ

Саал, К.: **Переходные режимы динамического торможения при системах привода в действие с двигателем постоянного тока.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 4, май 1985 г., стр. 153

Изучаются переходные режимы динамического торможения систем привода в действие с двигателем постоянного тока и постоянным потоком возбуждения, описаные четырмя математических линейных моделей второго порядка. Даются преображения Лапласа уголной скорости и роторного тока, а также и их временные нормированные выражения в самой простой форме. Рассматриваются все возможные типы работы (апериодические и колеблющиеся ослабленные). Работа дополняется с подробным примером расчёта.

УДК 621.317.7: 538.5

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ОСЦИЛЛОДВИГАТЕЛЬ
АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Дарие, С., Колоши Т., Бэлан, Х: **Аналитическое моделирование и анализ электродинамического осциллодвигателя через отношения вход-состояние-выход.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 4, май 1985 г., стр. 162

Работа представляет аналитическое упрощенное моделирование и анализ посредством переменных состояний в нормально и канонической формах для осциллодвигателей электродинамических проектированных, изготовленных и приводных в действие с промышленным назначением.

УДК 621.316.17: 538.221: 621.3.0.16

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
ЭКСТРАКЦИЯ ФЕРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОГРУЗКИ

Мереану, А. и др.: **Установки для экстракции феромагнитных материалов из технологических погрузок.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 4, май 1985 г., стр. 167

Работа представляет некоторые аспекты по производству установок для экстракции феромагнитных материалов из технологических погрузок. Уточняются основные характеристики электрические и механические, правила проверки качества и методы испытания установок, реализованных впервые у нас в стране.

УДК 621.313.3: 621.3.0.15.2

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОДЪЁМНОГО КРАНА
РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ
АЛГОРИТМ РАСЧЁТА

Барцер, Шт.: **Алгоритм расчёта для оптимизации мощности асинхронных двигателей подъёмного крана, снабженных при помощи регуляторов напряжения с тиристорами.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 4, май 1985 г., стр. 172

Основанный на синтез результатов проведенных исследований по термическому требованию и допустимой нагрузке асинхронных двигателей, которые питаются от регуляторов напряжения с тиристорами, в работе выявляются вопросы, выдвигаемые практикой проектирования и эксплуатации электрических приводов в действие с такими двигателями и блоками управления, и представляется алгоритм расчёта для оптимизированного решения этих вопросов. Трактуется случай привода в действие некоторых рабочих машин с механической характеристикой, независимой от вращения, как типический случай механизмов подъёма подъёмных кран и подвижных мостов.

УДК 621.315.616.97: 621.313.33

СИМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ
АСИНХРОННАЯ МАШИНА
ДАТЧИК

Михалаке, М., Гицэ, С.: **Вращательный датчик симетрических элементов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, № 4, май 1985 г., стр. 180

В работе описывается метод экспериментального определения симетрических элементов (прямого и косвенного) некоторых несиметрических систем токов или напряжений, используя асинхронную трёхфазную машину с намотанным ротором.

INHALT

DK 537.12. : 535.2

NICHTKONVENTIONELLE TECHNOLOGIEN
BESTRAHLUNG MIT BESCHLEUNIGTEN
ELEKTRONEN

Tănăsescu Fl. T. u.a : **Nichtkonventionelle Technologien, die auf die Bestrahlung mit beschleunigten Elektronen beruhen. (I) Anwendungsbereiche.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 4, Mai 1985, S. 143

Die Arbeit beschreibt eine Reihe von Methoden in bezug auf Anwendungen der technologischen Bestrahlung mit beschleunigten Elektronen sowohl in der elektrotechnischen Industrie, als auch in anderen Industriezweigen (Chemie, Leichtindustrie, Baubereich, Landwirtschaft usw.).

DK 621.313.2 : 621.3

GLEICHSTROMMOTOR
DYNAMISCHES BREMSEN

Saal, C : **Die nichtstationären Betriebe mit dynamischen Bremsen in den Antriebssystemen mit Gleichstrommotor.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 4, Mai 1985, S. 153

Es werden die nichtstationären Betriebe mit dynamischem Bremsen der Antriebssysteme mit Gleichstrommotor und

konstanter Erregungsströmung, beschrieben von vier linearen mathematischen Modellen zweiter Ordnung, studiert. Es werden die Laplace — Bildfunktionen der Winkelgeschwindigkeit und des Rotorstroms, sowie deren zeitliche normierte Ausdrücke, in der einfachsten Form, gegeben. Es werden alle möglichen Funktionstypen untersucht (die nichtperiodischen und die gedämpften wechselläufigen Typen). Die Arbeit wird mit einem ausführlichen Berechnungsbeispiel ergänzt.

DK 621.317.7. :538.5

ELEKTRODYNAMISCHER OSZILLOMOTOR
ANALYTISCHE GESTALTUNG

Darie, S., Coloşi, T., Bălan, H. : **Die analytische Gestaltung und die Analyse eines elektrodynamischen Oszillomotors durch Beziehungen Eingang — Zustand — Ausgang.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 4, Mai 1985, S. 162

Die Arbeit beschreibt eine vereinfachte analytische Gestaltung und Analyse mittels der Zustandsgrössen in normaler und kanonischer Form für die elektrodynamischen Oszillomotoren, die mit industrieller Bestimmung entworfen, ausgeführt und inbetriebgesetzt werden.

DK 62.316.17 : 538.221 : 621.3.016

ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN
GEWINNUNG FERROMAGNETISCHER STOFFE
TECHNOLOGISCHE CHARGEN

Mereanu, A. u.a. : **Anlagen für die Gewinnung der ferromagnetischen Stoffe aus den technologischen Chargen :**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 4, Mai 1985, S. 167

Die Arbeit beschreibt einige Aspekte betreffs der Herstellung der Anlagen für die Gewinnung der ferromagnetischen Stoffe aus den technologischen Chargen. Es werden die wichtigsten elektrischen und mechanischen Charakteristiken, die Regeln für die Qualitätsprüfung und die Methoden zur Erprobung der zum ersten Mal im Land realisierten Anlagen präzisiert.

DK 621.313.3 : 621.3.015.2

ASYNCHRONE KRANMOTOREN
SPANNUNGSVARIATOREN
BERECHNUNGSALGORITHMUS

Bartzer, Şt. : **Berechnungsalgorithmus für die Optimierung der Leistung der asynchronen Kranmotoren, die durch Spannungsvariatoren mit Thyristoren gespeist werden.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 4, Mai 1985, S. 172

Auf der Basis einer Synthese der Ergebnisse der ausgeführten Forschungen über die Wärmebeanspruchung und die zulässige Belastung der Asynchronmotoren, die durch Spannungsvariatoren mit Thyristoren gespeist werden, werden in der Arbeit die von der Entwurfs — und Nutzungspraxis der elektrischen Antriebe mit solchen Motoren und Steuerausrüstungen gestellten Probleme hervorgehoben und es wird der Berechnungsalgorithmus für fie optimierte Lösung dieser Probleme dargestellt. Es wird der Fall des Antriebs einiger Arbeitsmaschinen beschrieben, bei denen die mechanische Charakteristik unabhängig von der Drehzahl ist, wie das der typische Fall der Hebewerke der Kräne und Brückenkräne ist.

DK 621.315.616.97 : 621.313.33

SYMMETRISCHE BAUELEMENTE
ASYNCHRONE MASCHINE
UMFORMER

Mihalache, M., Ghiţă C. : **Drahbarer Umformer für symmetrische Bauelemente.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 4, Mai 1985, S. 180

In der Arbeit wird eine Methode der experimentellen Bestimung der direkten und umgekehrten symmetrischen Komponente einiger nichtsymmetrischen Strom — oder Spannungssysteme beschrieben, mit der Verwendung einer dreiphasigen Asyncronmaschine mit bewickeltem Rotor.

CONTENTS

DC 537 12 : 535.2

UNCONVENTIONAL TECHNOLOGIES
ACCELERATED ELECTRON IRRADIATION

Tănăsescu Fl. T. and others : **Unconventional Technologies Based on Accelerated Electron Irradiation. (I) Applications.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 4, mai 1985, p. 143

The paper presents several methods regarding the applications of accelerated electron technological irradiation both to electrotechnical industry and to other industrial branches (chemistry, light industry, constructions, agriculture etc).

DC 621.313.2 : 621.3

DIRECT — CURRENT MOTOR
DYNAMIC BRAKING

Saal, C. : **Transient States of Dynamic Braking in Direct-Current Motor Operating Systems.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 4, mai 1985. p. 153

The article studies the transient states of dynamic braking of direct-current motor operating systems and constant exitation flux, discribed by four linear mathematical models of the second order. There are given Laplace transforms of angular velocity and of rotor current as well as their normalized temporal expressions under the most simple form. All the possible operating types (dead beat and damped oscillating ones) are examined. The paper is completed with a detailed example of calculation.

DC 621.317.7 : 538.5

ELECTRODYNAMIC OSCILLOMOTOR
ANALYTICAL MODELLING

Darie, S., Coloşi, T., Bălan, C. : **Analytical Modelling and Electrodynamic Oscillomotor Analysis by Input—State Output Relations.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 4, mai 1985, p. 162

The paper presents a simplified analytical modelling and on analysis by state variables in normal and canonical form for electrodynamic oscillators, designed produced and set to work with industrial destination.

DC.621.316.17 : 538.221 : 621.3.016

ELECTRICAL EQUIPMENTS
FERROMAGNETIC MATERIAL EXTRACTION
TECHNOLOGICAL CHARGES

Mereanu, A, and others : **Equipments Intended for Ferromagnetic Material Extraction from Technological Charges.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 4, mai 1985, p. 167

The paper presents some aspects concerning the fabrication of equipments for ferromagnetic material extraction from technological charges. They specify the main electrical and mechanical characteristics, the quality check rules and the test methods of the equipments produced for the first time in our country.

DC 621.313.3 : 621.3.015.2

CRANE ASNYCHRONOUS MOTOR
VARIABLE – VOLTAGE REGULATOR
ALGORITHM OF CALCULATION

Bartzer, Sz.: **Algorithm of Calculation to Optimize the Power of Crame Asynchronous Motors Supplied by ThyristorVariable-— Voltage Regulators.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 4, mai 1985, p. 172

Based on a synthesis of the results of the researches regarding the thermal strain and the safe load of asynchronous motors supplied by thyristor variable-voltage regulators, the paper emphasizes the problems raised by design and electric drive exploitation practice with such motors and control equipments and it also presents the algorithm of calculation for an oprimized working out of these problems. The author deals with the problem of setting to work some equipments whose mechanical characteristic is independent of the number of rotations such as the typical case of crane regulators and overhead travelling-cranes.

DC 621.315.616.97 : 621.313.33

SYMMETRICAL COMPONENTS
ASYNCHRONOUS MACHINE
TRANSDUCER

Mihalache, M, Ghiță, C. : **Rotative Transducer of Symmetrical Components**

E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 4, mai 1985, p. 180

The paper describes an experimental determination method of symmetrical components, a direct and reverse one of non-symmetrical systems of currents and voltages, using a trip-hase asynchronous machine with phasewound rotor.

SOMMAIRE

CD 537.12. : 535.2

TECHNOLOGIES NON-CONVENTIONNELLES
IRRADIATION AVEC ÉLECTRONS ACCÉLÉRÉS

Tănăsescu, F. T. : **Technologies non- conventionnelles fondées sur l'irradiation avec électrons accélérés. (I) Domaines d'application.**

E.E.A. — **Electrotehnica** 33, nr. 4, mai 1985, p. 143

L'ouvrage présente une serie de méthodes concernant les applications de l'irradiation technologiques avec électrons accélérés dans l'industrie électrotechniques ainsi que dans d'autres industries (chimique, légère, constructions, agriculture etc.)

CD 621.313.2 : 621.3

MOTEUR DE COURANT CONTINUU
FREINAGE DYNAMIQUE

Saal, C. : **Régimes transitoires de freinage dynamique dans les systèmes de commande par moteur de courant continuu**

E.E.A. — **Electrotehnica** 33, nr. 4, mai 1985, p. 153

Dans l'ouvrage, on étudie les régimes transitoires de freinage dynamique des systèmes de commande par moteur de courant continuu et flux d'excitation constant, décrits de quatre modèles mathématiques linéaires deuxième ordre. On donne les fonctions Laplace de la vitesse angulaire et du courant rotorique, ainsi que leurs expressions normalisées temporelles sous la forme la plus simple. On étudie tous les types possibles de fonctionnement (apériodiques et oscillations amorties). L'ouvrage est compléte par un exemple detaillé de calcul.

CD 621.317 : 538.5

OSCILLOMOTEUR ELECTRODYNAMIQUE
MODELAGE ANALYTIQUE

Darie, S., Colosi, T., Bălan, H. : **Modelage analytique et l'analyse d'un oscillomoteur électrodynamique par relations entrée-état-sortie.**

E.E.A. — **Electrotehnica** 33, nr. 4, mai 1985, p. 162

L'ouvrage présente un modelage analytique simplifié et analyse par l'intermède des variables d'état en forme normale et canonique pour oscillomoteurs électrodynamiques projetés, executés et mis en fonction avec destination industrielle.

CD 621.316.17 : 538.221 : 621.3.016

INSTALLATIONS ELECTRIQUES
EXTRACTION MÁTERIELS FÉROMAGNÉTIQUES
CHARGES TECHNOLOGIQUES

Mereanu, A : **Installations pour l'extraction des matériels féromagnétiques des charges technologiques.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 4, mai 1985, p. 167

L'ouvrage présente quelques aspects concernant la fabrication des installations pour l'extraction des matériels féromagnétiques des charges technologiques. On donne les principales caractéristiques électriques et mécaniques, les règles de vérification de la qualité et les méthodes d'essai des installations qui se réalisent pour la première fois dans notre pays.

CD 621.313.3 :62 1.3.015.2.

MOTEURS ASYNCHRONES POUR LA GRUE
VARIATEURS DE TENSION
ALGORITHME DE CALCUL

Bartzer, Șt. : **Algorithme de calcul pour l'optimissation de la puissance des moteurs asynchrones pour la grue, alimentés par variateurs de tension aux thyristors.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 4, mai 1985, p. 172

Fondé sur une synthèse des résultats des recherches effectuées, concernant la sollicitation thermique et la charge admise des moteurs asynchrones alimentés par variateurs de tension au thyristors, dans l'ouvrage on met en évidence les problémes soulevés par la pratique de la projection et l'exploitation des commandes électriques avec tels moteurs et equipments de commande et on présente l'algorithme de calcul pour la résolution optimale de ces problèmes. On traite le cas de la commande des machines à travailler avec la caracteristique mécanique indepéndante de nombre de tours, comme c'est le cas des mécanismes de levage des grues et des ponts roulants.

CD 621.315.616.97 : 621.313.33

COMPOSANTS SYMETRIQUES
MACHINE ASYNCHRONE
TRADUCTEUR

Mihalache, M., Ghiță, C. : **Traducteur rotatif de composants symétriques.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 4, mai 1985, p. 180

Dans l'ouvrage, on décrit une méthode de détermination expérimentale des composants symétriques directe et inverse des systèmes non-symétriques de courants ou de tensions, en utilisant une machine asynchone triphasée au rotor à enroulement.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI

CZ 537.12 : 535.2

Tehnologii neconvenţionale bazate pe iradierea cu electroni accelerați. (I) Domenii de aplicare

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, RADU CRAMARIUC, SILVIU JIPA, SORIN ILIE, CONSTANTIN CAZAC, DIANA ILIE, GHEORGHE MARIN, RADU SETNESCU, TANŢA SETNESCU*, ION MIHALCEA** — BUCUREŞTI

Introducere

Cercetările întreprinse în ultimii 20 de ani pe plan mondial referitoare la iradierile tehnologice cu electroni accelerați au condus la elaborarea unor tehnologii în fază pilot, semiindustrial şi industrial, cu o gamă largă de aplicaţii atît pentru industria electrotehnică, cît şi pentru alte ramuri industriale (chimie, industrie uşoară, construcţii, agricultură ş.a.). Simpla enumerare a acestor tehnologii oferă o imagine convingătoare asupra paletei largi de aplicaţii ale iradierii industriale cu electroni accelerați:

1 — reticularea izolaţiei conductorilor şi cablurilor;
2 — reticularea unor materiale plastice sub formă de folii, tuburi sau de tip expandabil;
3 — vulcanizarea elastomerilor;
4 — modificarea materialelor textile;
5 — grefarea radiopolimerizantă: pe film, fibră sau hîrie;
6 — uscarea lacurilor şi a vopselelor pe suport de lemn, metal sau plastic;
7 — depolimerizarea celulozei;
8 — îmbunătăţirea caracteristicilor dispozitivelor semiconductoare;
9 — sterilizarea unor accesorii medicale;
10 — pasteurizarea şi sterilizarea unor produse vegetale;
11 — conservarea unor produse alimentare;
12 — tratarea unor deşeuri solide şi a apelor reziduale.

Procesele fizico-chimice care stau la baza modificărilor induse prin iradierea cu electroni accelerați a unor astfel de materiale, precum şi avantajele aplicării acestor tehnologii în raport cu tehnologiile convenţionale, sînt prezentate succint în tabelul 1.

Ceea ce este comun tuturor acestor electrotehnologii, sub aspectul avantajelor faţă de tehnologiile clasice, este posibilitatea de a obţine produse calitativ omogene ca urmare a faptului că procesul iradierii este uşor de controlat, caracterul nepoluant al acestora, consumurile reduse de energie, precum şi necesitatea unor spaţii tehnologice mici. Ca urmare a acestui fapt preţurile de producţie sînt inferioare în cazul electrotehnologiilor, faţă de alternativele lor clasice, aşa cum rezultă dintr-un studiu recent elaborat [1] (tabelul 2).

Tabelul 3 prezintă dozele de iradiere aplicate în aceste tehnologii, precum şi productivităţile înregistrate [2].

Electrotehnologii bazate pe reticulare şi vulcanizare

Fenomenul reticulării unui polimer, respectiv al vulcanizării unui elastomer, constă, în esenţă, în formarea prin iradiere a unor legături chimice transversale între lanţurile carbocatenare, ce are drept rezultat îmbunătăţirea proprietăţilor fizico-chimice şi mecanice ale materialului (tabelul 4).

Doza de iradiere necesară obţinerii unui grad optim de reticulare sau vulcanizare (70—75%) depinde de tipul polimerului sau elastomerului, aşa cum ilustrează datele prezentate în tabelul 5. În unele cazuri această doză mai depinde şi de tipul şi concentraţia aditivilor de sensibilizare a reticulării introduşi în polimer.

Procedeul reticulării prin iradiere a polietilenei şi-a găsit largi aplicaţii în industria electrotehnică datorită îmbunătăţirii caracteristicilor acestui material electroizolant. Polietilena reticulată prin iradiere şi-a găsit, de asemenea, aplicaţii în construcţii (conducte pentru transportul apei supraîncălzite, materiale ex-

* Institutul de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică — ICPE — Bucureşti.
** Institutul politehnic — Bucureşti.

Tabelul 1

Aplicațiile industriale ale iradierii cu electroni accelerați

Produsul	Îmbunătățirile aduse produsului și avantajele tehnologiei de iradiere cu electroni accelerați	Procesul fizicochimic
Conductori și cabluri cu izolație polimerică Tuburi izolatoare din material plastic Folii de ambalaj din material plastic	Îmbunătățirea rezistenței la șoc, la fisurare, la acțiune termică, la solvenți și la medii corozive Implantarea efectului de memorie (tuburi)	
Polietilenă expandabilă	Creșterea rezistenței la compresiune și la tracțiune. Scăderea alungirii la rupere	Reticulare și vulcanizare
Cauciuc natural și sintetic	Creșterea stabilității la temperatură și a rezistenței la abraziune Eliminarea agenților de vulcanizare și a procesului termic însoțitor	
Gaze de ardere	Precipitarea dioxidului de sulf și a oxizilor de azot Eliminarea pericolului de poluare	Reacție chimică
Dispozitive semiconductoare	Reducerea timpului de comutare. Creșterea randamentului. Stabilizarea amplificării circuitului integrat. Scăderea zgomotului diodelor Zener. Modificarea nivelelor beta	Modificarea structurii cristaline
Cristale, sticle pietre-prețioase și semiprețioase	Înducerea unei colorări remanente	
Fibre și materiale textile	Creșterea rezistenței la șifonare, la contracție și la intemperii. Îmbunătățirea caracteristicilor tinctoriale. Posibilitatea de antistatizare și de stabilizare termică	Grefare
Pelicule și hîrtie	Creșterea adezivității superficiale. Îmbunătățirea hidrofiliei	
Materiale adezive — benzi; — laminate	Creșterea adezivității. Creșterea rezistenței chimice la rupere, la abraziune și la intemperii	
Uscarea lacurilor și a vopselelor pe suport de : — lemn; — metal; — material plastic	Eliminarea solvenților și a consumului de energie în procesul de fabricare. Realizarea procesului la temperatura camerei, la viteze mari de producție	Polimerizare și copolimerizare Întărire prin reticulare
Impregnate din lemn și textile cu și fără fibre de sticlă	Îmbunătățirea rezistenței la zgîriere, la crăpare, la abraziune, la scorojire la gonflare și la intemperii. Uniformitate excelentă de suprafață. Îmbunătățirea calității esențelor moi de lemn	
Produse alimentarea (legume, fructe, carne, pește ș.a.)	Creșterea duratei de stocare a produdusului	Pasteurizare
Accesorii chirurgicale și alte obiecte de uz medical	Extinderea sterilizării și la accesoriile termosensibile. Productivitate înaltă și consum scăzut de energie	Sterilizare

Tabelul 2

Comparaţia costurilor unor tehnologii care au la bază tratamente termice, respectiv iradieri (nivel 1981) [1]

Tehnologia	Procedeu termic	Procedeul prin iradiere
Reticularea polietilenei (conductor 600 V)	2,4 centi/kg	1,1 centi/kg (15 MRad)
Vulcanizarea foliilor de cauciuc	6,2 centi/kg	0,73 centi/kg (10 MRad)
Reticularea (întărirea) panourilor din poliester armat (1 500 kg/oră)	50 $/oră (etuve încălzite cu gaz)	12 $/oră
Uscarea lacurilor şi a vopselelor	9 000 $/lună (gaz)	1600 $/lună
Conservarea alimentelor	3,7 centi /kg/zi (îngheţarea)	0,04 centi/kg (0,5 MRad)
Sterilizarea unor accesorii chirurgicale	1,8 $/m³ (oxid de etilenă)	40 centi/m³ (2,5 MRad)

Tabelul 3

Doza de iradiere şi productivitatea unor electrotehnologii [2]

Tehnologia	Doza de iradiere, MRad	Productivitatea, kg/kWh
Reticularea foliilor şi a tuburilor din polietilenă	10—30	12—36
Vulcanizarea cauciucului : — natural — siliconic	10—30 5—15	12—26 24—72
Uscarea lacurilor şi a vopselelor	2—5	72—180
Obţinerea de produşi polimerici grefaţi	1—2	180—360
Depolimerizarea celulozei	0,5—1	360—720
Sterilizarea accesoriilor chirurgicale	0,025—0,1	3 600—14 400
Conservarea alimentelor	0,1—2,5	144—360

pandate), în agricultură (folii pentru solarii), la confecţionarea unor ambalaje (saci, butelii) ş.a. Figura 1 prezintă schema generală a dispunerii utilajului tehnologic într-o staţie-pilot de iradiere a izolalaţiei conductorilor şi cablurilor.

Figura 2 prezintă un detaliu al unei instalaţii industriale de iradiere a izolaţiei conductorilor [3].

Pentru o configuraţie dată de conductor (diametrul exterior, grosimea peretelui izolator şi tipul materialului izolator) tensiunea de accelerare minimă necesară pentru realizarea unei bune penetrări a izolaţiei [4] este dată de relaţia :

$$V_{kV} = 197 \cdot p \sqrt{W\,(OD - W)} + 325,\ \text{kV},$$

unde :

p este greutatea specifică a materialului izolator ;
W — grosimea peretelui izolator, mm ;
OD — diametrul exterior al conductorului, mm.

Figura 3 prezintă grosimea de penetrare a electronilor accelerați în funcţie de energia acestora.

Tabelul 4

Unele caracteristici fizico-chimice și mecanice ale polietilenei reticulată prin iradiere cu electroni accelerați

Caracteristica	Polietilenă de joasă densitate	
	Neiradiată	Iradiată, 30 MRad
Gradul de reticulare, %	—	70
Solubilitatea în solvenți (xilen, toluen etc.)	solubilă	insolubilă
Rezistența la tracțiune, kgf/cm²	150	175
Alungirea la rupere, %	680	510
Rezistența la tracțiune după 168 ore la 135°C, kgf/cm²	Nu rezistă la 135°C	160
Alungirea la rupere după 168 ore la 135°C, %	Nu rezistă la 135°C	460
Alungirea la 150°C timp de 15 minute sub sarcină de 20 N/cm², %	Nu rezistă la 150°C	130

Tabelul 5

Dozele optime de reticulare (vulcanizare) ale unor polimeri și elastomeri [2]

Produsul macromolecular	Doza, MRad,
Polietilenă — nesensibilizată — sensibilizată	25—30 10—20
Copolimeri poliolefinici (neetilenici)	10—15
PVC sensibilizat	5—8
Cauciuc EPDM (terpolimer etilen-propilenic diterțienic)	10—20
Cauciuc EPR (copolimer etilen-propilenic)	5—15
Polietilenă clorsulfonată	10—15
Polifluorură de viniliden	8—16

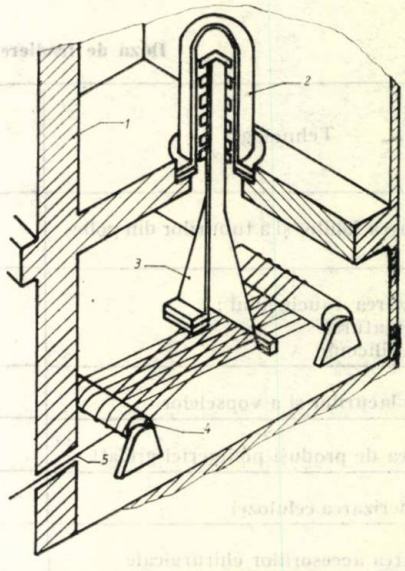


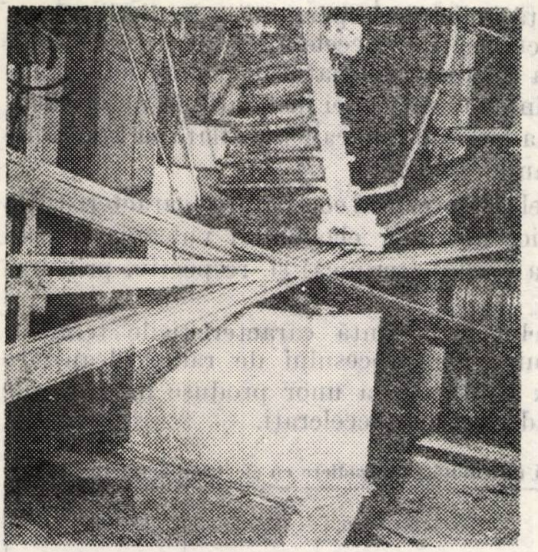
Fig. 1. Schema generală a dispunerii utilajului tehnologic într-o stație pilot de iradiere a izolației conductorilor și cablurilor: *1*. element de protecție; *2* — accelerator de electroni; 3 — con de baleiere; *4* — dispozitiv de transport a conductorului în fascicul; *5* — conductor.

Figura 4 prezintă variația dozei procentuale de iradiere a izolației conductorilor, în funcție de adîncimea de penetrare a fluxului de electroni accelerați.

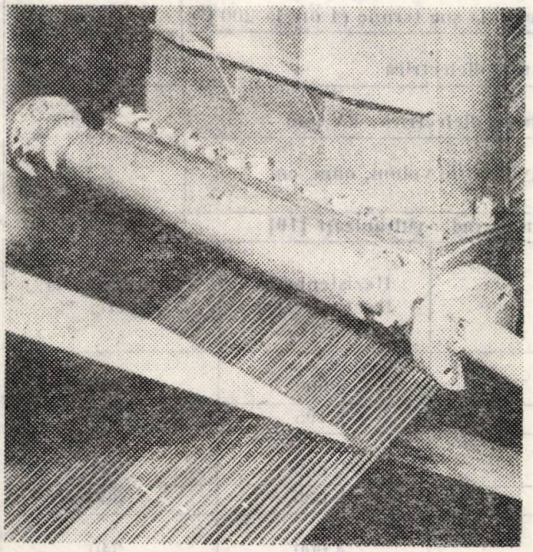
Tabelul 6 prezintă intervalele de energie a electronilor accelerați, corespunzătoare unor anumite diametre de conductori și cabluri cu izolație din polietilenă, în cazul unei iradieri bilaterale.

Tehnologia de reticulare a izolației polietilenice a conductorilor și a cablurilor prin iradiere cu electroni accelerați poate fi aplicată unei game largi de produse de tipodimensiuni și destinații diferite (cabluri de energie, cabluri pentru centrale nucleare, conductori de bobinaj, cabluri telefonice, cabluri de înaltă tensiune și înaltă frecvență pentru conexiuni în televizoare, cabluri coaxiale și plat—paralele pentru antene de recepție ș.a.).

Tehnologia de reticulare a polietilenei (și a altorpolimeri), prin iradiere cu electroni accelerați, și-a găsit aplicații și la obținerea produselor termocontractabile (cu efect de me-



a



b

Fig. 2. Detaliu al unei instalații industriale de iradiere a izolației conductorilor [3].

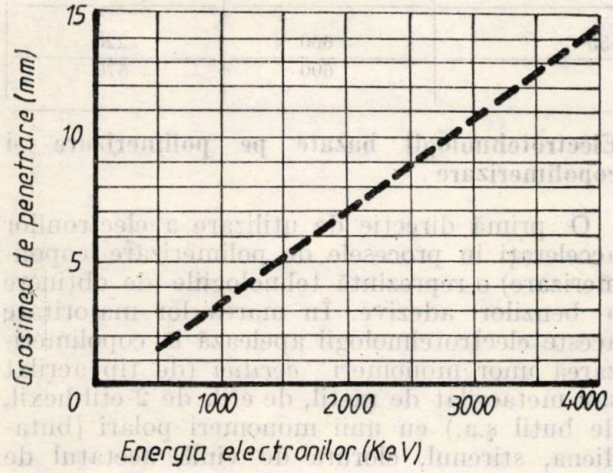


Fig. 3. Variația grosimii de penetrare a izolației de polietilenă în funcție de energia electronilor accelerați [5].

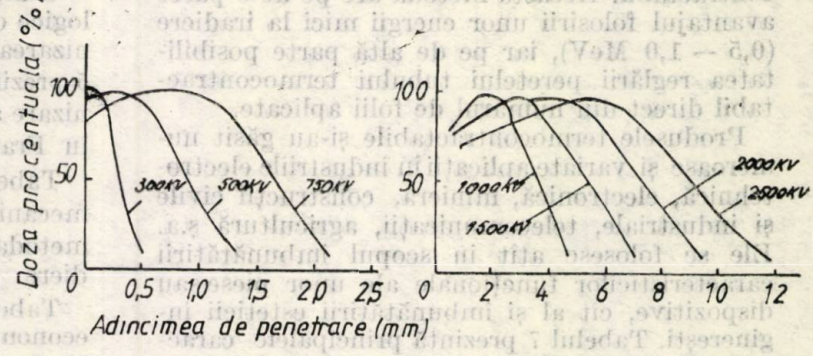


Fig. 4. — Variația dozei cu adîncimea de penetrare a electronilor accelerați [5].

Tabelul 6

Energia fluxului de electroni accelerați necesară reticulării izolației polietilenice a unor conductori și cabluri la o iradiere bilaterală [6]

Energia electronilor	Grosimea izolației de polietilenă, mm	Diametrul conductorului, mm
40—70 keV	0,63	0,66—2,44
150—300 keV	1,27	1,27—4,83
0,75—1,0 MeV	2,57	4,07—7,62
1,5—2,0 MeV	3,81	4,57—8,13
3,0—3,5 MeV	5,08	8,10—11,2

morie). Efectul de memorie constă, în esență, în aducerea polimerului postiradiere la o temperatură superioară celei de vitrificare, deformarea termică a materialului și înghețarea sa în această stare. Reîncălzirea ulterioară a materialului conduce la relaxarea tensiunilor interne create cu recăpătarea dimensiunilor și formelor anterioare defor ării.

Principial, există două metode de obținere a produselor tubulare termocontractabile : metoda tubului și metoda foliei [7]. În prima metodă tubul polimeric obținut prin extrudere este iradiat și deformat radial. Gradul optim de reticulare în cazul polietilenei este de maximum 60%. Pentru deformare există metode pneumatice și mecanice.

În cea de a doua metodă tubul se obține prin etirarea unei folii iradiate. Astfel, o folie termocontractabilă obținută dintr-o folie iradiată și etirată (alungită) se înfășoară în jurul unei mandrine rigide în mai multe straturi. Ansamblul se încălzește peste punctul de topire al polimerului, cînd straturile de folii aderă unul la celălalt compactizîndu-se și rezultînd un tub. După răcire, tubul se extrage de pe mandrină și este apt de a fi folosit ca tub termo-

contractabil. Această metodă are pe de o parte avantajul folosirii unor energii mici la iradiere (0,5 — 1,0 MeV), iar pe de altă parte posibilitatea reglării peretelui tubului termocontractabil direct din numărul de folii aplicate.

Produsele termocontractabile şi-au găsit numeroase şi variate aplicaţii în industriile electrotehnică, electronică, minieră, construcţii civile şi industriale, telecomunicaţii, agricultură ş.a. Ele se folosesc atît în scopul îmbunătăţirii caracteristicilor funcţionale ale unor piese sau dispozitive, cît al şi îmbunătăţirii esteticii inginereşti. Tabelul 7 prezintă principalele caracteristici ale tuburilor termocontractabile din polietilenă, realizate la ICPE Bucureşti.

O altă aplicaţie importantă a iradierii tehnologice cu electroni acceleraţi o constituie vulcanizarea elastomerilor naturali şi sintetici. Figura 5 prezintă schema unei instalaţii de radiovulcanizare a latexului de cauciuc aflată în funcţiune în Franţa.

Tabelul 8 prezintă comparativ caracteristicile mecanice ale unor elastomeri vulcanizaţi prin metoda clasică (termică) şi, respectiv, prin iradiere.

Tabelul 9 prezintă caracteristicile tehnico-economice ale procesului de radiovulcanizare în flux continuu a unor produse din cauciuc folosind electroni acceleraţi.

Tabelul 7

Principalele caracteristici ale tuburilor termocontractabile din polietilenă reticulată prin iradiere cu electroni acceleraţi [8]

Caracteristica	Valoarea	Caracteristica	Valoarea
Gradul de reticulare, %	55—60	Rezistenţa la şoc termic (4 ore la 200°C)	trece
Contracţie longitudinală, %	5	Constanta dielectrică	2,2
Rezistenţa la tracţiune, kgf/cm²	175	Rigiditatea dielectrică, kV/mm	26
Alungirea la rupere, %	400	Rezistivitate de volum, ohm. cm	8.10^{15}

Caracteristicile mecanice ale unor elastomeri termo-şi radio-vulcanizaţi [10] *Tabelul 8*

Elastomerul	Condiţia de vulcanizare	Rezistenţa la tracţiune, psi	Alungirea la rupere, %
Cauciuc natural (poliizoprenic)	50 min la 155°C	2 500	330
	40 MRad	2 195	220
Cauciuc butadienstirenic	30 min la 167°C	2 840	395
	30 MRad	2 020	300
Cauciuc butadienacrilonitrilic	40 min la 167°C	4 000	340
	10 MRad	2 760	185
Cauciuc policloroprenic (CR—W)	40 min la 167°C	3 420	310
	10 MRad	2 720	230
Cauciuc fluorurat (Viton-A)	30 min la 155°C	1 660	220
	12 MRad	1 600	570

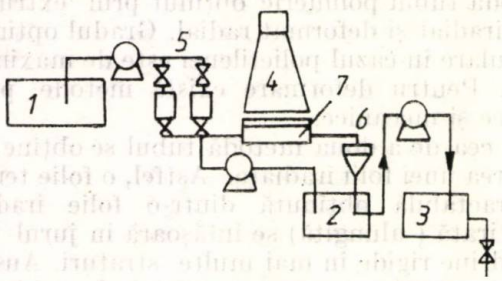


Fig. 5 — Schema instalaţiei de radiovulcanizare a latexului de cauciuc natural [9]: *1* — rezervor de materie primă; *2* — rezervor de recirculare; *3* — rezervor de stocare; *4* — accelerator de electroni; *5* şi *6* — filtre; *7* — celulă de iradiere.

Electrotehnologii bazate pe polimerizare şi copolimerizare

O primă direcţie de utilizare a electronilor acceleraţi în procesele de polimerizare (copolimerizare) o reprezintă tehnologiile de obţinere a benzilor adezive. În marea lor majoritate aceste electrotehnologii apelează la copolimerizarea unor monomeri *acrilici* (de tip acrilat sau metacrilat de metil, de etil, de 2-etil-hexil, de butil ş.a.) cu unii monomeri polari (butadiena, stirenul, clorura de vinil, acetatul de vinil ş.a.), compuşii rezultaţi avînd temperaturi de vitrifiere inferioare temperaturii camerei

Tabelul 9

Caracteristicile tehnico-economice ale procesului de radiovulcanizare cu electroni accelerați* [11]

Tipul produsului din cauciuc	Energia electronilor	Viteza de transport sub fascicul, m/min	Productivitatea,		Preț iradiere**, ruble/kg	
			t/24 h	km/24h	Accelerator liniar	Transformator rezonant
Placă cu grosimea de 5 mm și lățimea de 1 000 mm	2	1	6,2	1	0,30	0,05
Material din pînză cauciucată (grosime 2,5 mm ; lățime 1 000 mm)	1	2	6,2	2	0,30	0,05
Șnur (diametrul 8 mm)	3	80	5,0	65	0,40	0,06
Tub cu perete subțire (diametrul interior 7 mm)	1	250	3,8	270	0,50	0,10
Inele masive	3	4,5	2,0	—	0,90	0,15
Placă cu lățimea de 1000 mm prelucrată prin iradiere la adîncimea de 1,25 mm	0,5	4,5	—	4,5	*** 0,40	*** 0,08

* Coeficientul de utilizare a fluxului de electroni : 50%;
** 1 kWh = 2,6 ruble pentru acceleratorul liniar și 1 kWh = 0,9 ruble pentru transformatorul rezonant;
*** Ruble/m.

astfel încît ei se prezintă într-o stare fluidă [12]. Adesea, în sistem sînt folosiți și agenți de reticulare de tipul unor monomeri polifuncționali. Ca suport pentru obținerea benzilor adezive se folosesc folii de aluminiu, celofan, politetrafluoretilenă, polifluorură de viniliden, policlorură de vinil, polietilenă, polietilentereftalat ș.a. Alegerea suportului se face în funcție de domeniul de utilizare al benzii adezive. Obținerea benzii adezive are loc deci prin copolimerizarea amestecului de monomeri direct pe suprafața suportului prin iradiere cu electroni accelerați la o doză de 8—10 MRad. Tabelul 10 prezintă comparativ caracteristicile de adezivitate ale unor benzi obținute prin iradiere cu electroni accelerați, respectiv prin tehnologia convențională.

În URSS s-au obținut benzi adezive electroizolante prin iradierea cu electroni accelerați a unor amestecuri de rășini pe bază de cauciuc poliheterosiloxanic. Benzile au o bună stabilitate termică și la umezeală, o rigiditate dielectrică de 30 kV/mm și o rezistivitate de volum de 10^{14} ohm. cm [14]. Figura 6 prezintă schema instalației de obținere a unei benzi adezive pe suport de țesătură de sticlă folosind tehnica iradierii cu electroni accelerați.

O altă aplicație tehnologică importantă a polimerizării prin iradiere cu electroni accelerați o constituie uscarea lacurilor și a vopse-

Tabelul 10

Caracteristicile benzilor adezive obținute prin iradiere comparativ cu tehnologia convențională* [13]

Caracteristica	Condiționare	Tehnologia	
		De iradiere	Convențională
Desprinderea de pe o placă de oțel (g/cm)	Inițial	735,4	642,8
	După 7 zile la 88°C	648,4	579,2
Lipire rapidă (g)	Inițial	780	480
	După 7 zile la 88°C	360	370
Adeziunea (ore) (greutate 1 kg)	Inițial	9,5	4
	După 7 zile la 88°C	9	4

* Doza de iradiere : 10 MRad ; Suport : Poietilen tereftalat

lelor pe suport metalic, lemnos sau din material plastic [16—18]. În general, lacurile şi vopselele utilizate în aceste tehnologii au la bază răşini nesaturate (poliesterice, epoxidice, acrilice ş.a.),

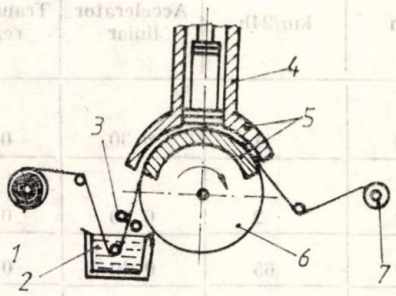


Fig. 6. Schema instalaţiei de iradiere cu electroni acceleraţi pentru producerea benzilor adezive pe suport de ţesătură de sticlă [15] : *1* — bobină de alimentare; *2* — baie cu amestec de monomeri; *3* — role de compresie pentru eliminarea excesului de amestec de impregnare; *4* — accelerator de electroni; *5* — ecrane de protecţie; *6* — cilindru de ghidare; *7* — bobină colectoare.

iar peliculele obţinute au o foarte bună aderenţă, flexibilitate mare, rezistenţă mecanică bună, stabilitate faţă de agenţi chimici, luciu ş.a.

Prin acest procedeu s-au acoperit tole de dimensiuni mari cu pelicule polimerice cu grosimi de pînă la 150 μ. Rezultate excelente s-au obţinut şi în cazul acoperirii unor serpentine metalice din oţel sau aluminiu cu diferite utilizări în industria constructoare de maşini.

Aceeaşi tehnică s-a folosit şi la obţinerea combinaţiilor lemn-plastic, ceramică-plastic şi beton-plastic. Pentru impregnare se folosesc răşini poliesterice nesaturate, metacrilatul de metil şi alţi monomeri. Materialele obţinute printr-o astfel de tehnologie au o duritate şi o stabilitate dimensională superioară. Figura 7 prezintă o linie tehnologică de finisare a unor panouri lemnoase prin întărirea cu electroni acceleraţi a lacurilor de acoperire (URSS).

Un alt domeniu de aplicare industrială a electronilor acceleraţi în procesele de polimerizare îl reprezintă obţinerea de piese electroizolante din materiale plastice termorigide armate. Astfel, în URSS se obţin în flux continuu piese tubulare din răşini poliesterice armate cu fibre

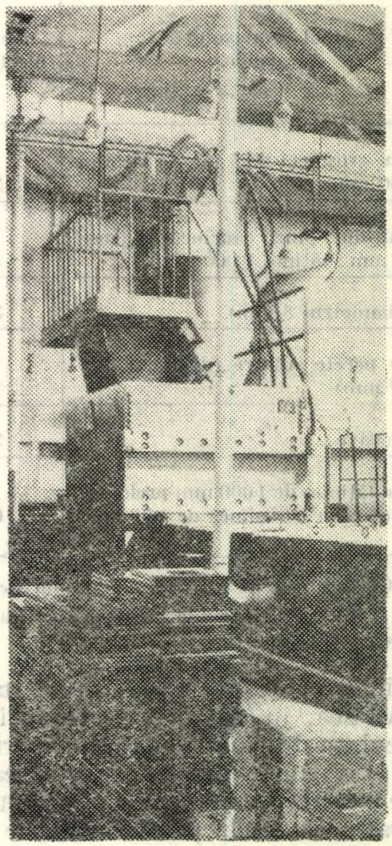


Fig. 7.=. Utilizarea fluxurilor de electroni acceleraţi la întărirea lacurilor de finisare a unor panouri lemnoase [19].

de sticlă (sticloplaste) întărite prin iradiere cu electroni acceleraţi, utilizate în special în domeniul electrotehnic [20—22]. Piesele se obţin la grosimi mari prin polimerizări succesive strat după strat. Concluzia cercetătorilor sovietici este aceea că procedeul radiochimic de obţinere a acestor produse este superior procedeului convenţional (termocatalitic), atît din punct de vedere al caracteristicilor tehnice ale produsului, cît şi din punct de vedere economic (tabelul 11).

Tabelul 11

Caracteristicile mecanice ale unor sticloplaste obţinute prin polimerizare termocatalitică şi radiochimică [23]

Procedeul de obţinere a produsului poliesteric armat	Caracteristica procedeului	Rezistenţă la tracţiune, kgf/cm²	Rezistenţa la compresie, kgf/cm²	Rezistenţa la încovoiere, kgf/cm²
Termocatalitic	Încălzire, catalizator, ş.a.	3 100	3 150	4 300
Iradiere	Iradiere (10 MRad) cu radiaţii gama de ^{60}Co	3 300	3 300	4 800
	Iradiere (10 MRad) cu electroni acceleraţi	3 650	4 270	5 030

În aceeași categorie de aplicații se citează și obținerea de circuite imprimate de flexibile sau rigide, precum și obținerea hîrtiei plastice [21, 24, 25].

Alte aplicații

Una dintre cele mai noi și promițătoare direcții de utilizare a iradierii tehnologice folosind electroni accelerați o reprezintă domeniul electronicii. Se constată pe plan mondial o creștere continuă a interesului pentru aplicarea acestei noi tehnologii în următoarele două direcții importante: îmbunătățirea caracteristicilor dispozitivelor semiconductoare (mărirea sensibilității controlului porții de intrare, îmbunătățirea tensiunii de baraj a joncțiunii semiconductoare, a caracteristicilor inverse, a timpului de comutare ș.a.) [26—34] și utilizarea în procesul tehnologic de realizare propriu-zisă a dispozitivelor semiconductoare (circuite integrate [35], echipamente de comutație [36] ș.a.).

În utilizările tehnologice ale electronilor accelerați un loc din ce în ce mai important îl ocupă și obținerea produșilor polimerici grefați. Indicațiile de literatură arată un stadiu de transpunere industrială a procedeelor radiochimice de obținere a polimerilor grefați destul de avansat [37—42]: grefarea butadienei pe polietilenă (Japonia), grefarea acidului acrilic pe polietilenă (SUA), grefarea butadienei pe policlorură de vinil (Japonia), grefarea stirenului pe polietilenă (Japonia) și grefarea stirenului pe policlorură de vinil (SUA). În aceeași categorie de utilizări tehnologice ale electronilor accelerați se înscrie și grefarea unor monomeri pe fibre textile în scopul îmbunătățirii proprietăților antistatice și tinctoriale ale acestor materiale. Figura 8 prezintă dispunerea unui utilaj de iradiere folosit în scopul tratării materialelor textile.

O altă direcție importantă a iradierii tehnologice o reprezintă iradierea în scopul conservării produselor agro-alimentare [43—48). Deși transformările fizice și chimice induse de radiații la nivel celular implică modificări și interdependențe complexe, guvernate de mecanisme doar parțial cunoscute, în ciuda unui mare număr de studii, o serie de efecte biologice ale radiațiilor sînt intensiv și judicios utilizate în aplicații de mare potențial economic [48]. În cadrul acestui domeniu de iradiere tehnologică se disting următoarele direcții principale: conservarea fructelor și legumelor în scopul combaterii dăunătorilor și al inhibării germinației, condiționarea grînelor (figura 9), precum și conservarea alimentelor în scopul sterilizării și pasteurizării lor.

Alături de domeniile menționate se înscrie și acela al sterilizării, prin iradiere, a unei varietăți largi de produse medico-farmaceutice, materiale și instrumentar folosite în spitale, precum și preparate de țesuturi biologice, ce se aplică într-un număr mare de țări. Datorită multiplelor avantaje pe care le oferă procedeul radiosterilizării (productivitate ridicată, consum

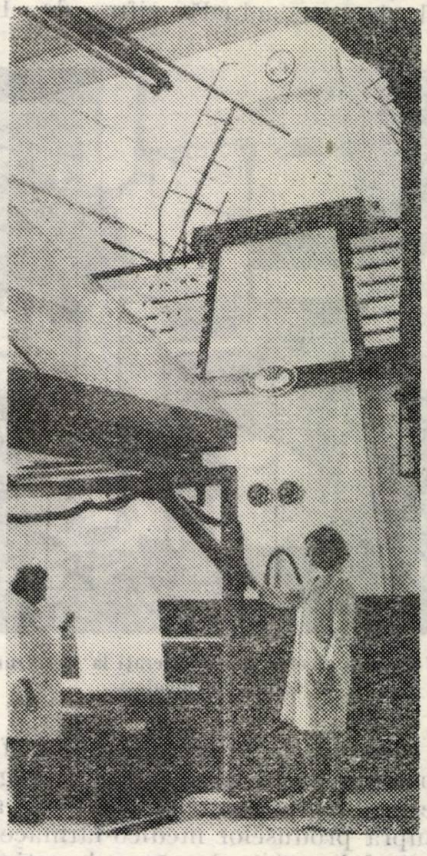


Fig. 8. Utilizarea electronilor accelerați la tratarea materialelor textile.

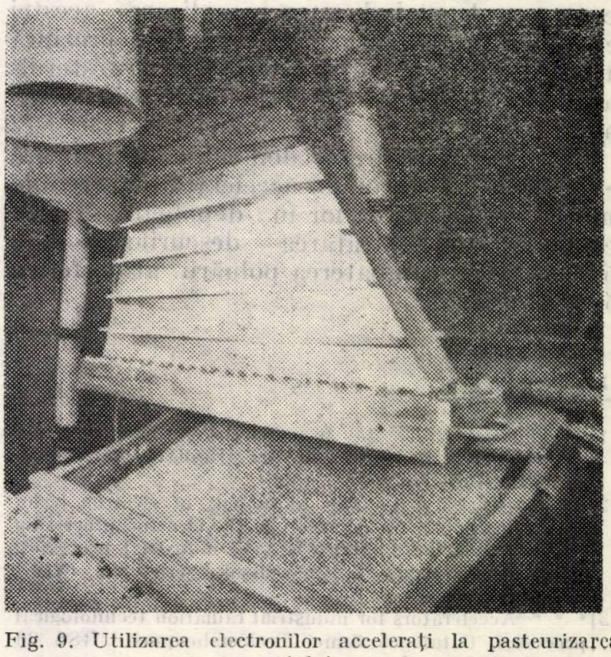


Fig. 9. Utilizarea electronilor accelerați la pasteurizarea grîului.

scăzut de energie, posibilitatea extinderii sterilizării și la accesoriile termosensibile), comparativ cu procedeele convenționale (energointensive), numărul instalațiilor de iradiere ce utilizează acceleratori de electroni în acest scop este, pe plan mondial, în continuă creștere, depășind la ora actuală cifra de 100. O

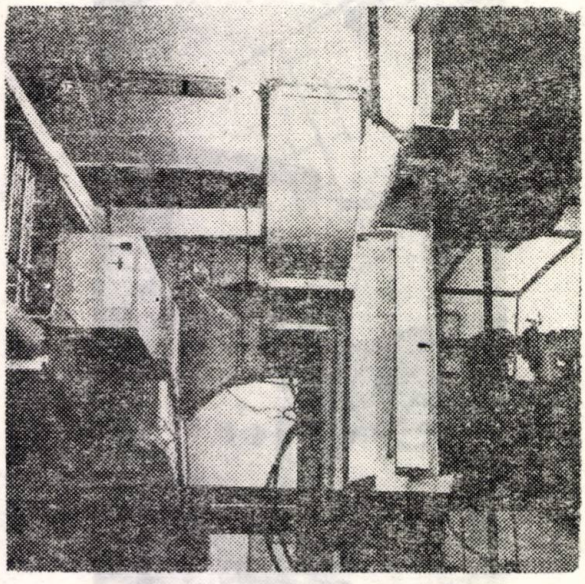


Fig. 10. Utilizarea electronilor accelerați la sterilizarea accesoriilor medicale.

dovadă elocventă a interesului sporit față de acest domeniu și, în consecință, a progreselor realizate în direcția efectelor complexe ale iradierii asupra produselor medico-farmaceutice o reprezintă elaborarea, de către Agenția Internațională pentru Energie Atomică a unor recomandări privind radiosterilizarea [19—51], ce servesc drept îndrumar în aplicarea acestei tehnologii neconvenționale. Figura 10 prezintă utilizarea electronilor accelerați pentru sterilizarea conteinerelor conținînd accesorii medicale.

Fără a epuiza firește domeniile de aplicare tehnologică a electronilor accelerați, mai trebuie amintită și utilizarea lor în : depoluarea apelor reziduale [52], tratarea deșeurilor solide [53—55] și în combaterea poluării atmosferice [56].

Bibliografie

[1] *Morganstern, K. H.* Industrial radiation processing-present status and prospects. Im : Radiat. Phys. Chem. vol. **18**, 1981, p. 1—9.

[2] *Simonis, P.J.C.A.* The handbook of electron beam processing. An introduction to the electron processing systems and their applications in industrial processes. High Voltage engineering handbook, series, vol. **IND—001**, 1979.

[3]* * * Accelerators for industrial radiation technological processes. Catalogul firmei Techsnabexport URSS 36 M—596, 1979, p. 7, 10.

[4] *Bly, J. H.* Choosing an accelerator for the irradiation of wire and cable. In : Radiat. Phys. Chem. vol. **9**, 1977, p. 599—611.

[5] * * * Accelerators for industrial radiation technological processes. Catalogul firmei Techsnabexport URSS, 36 M—708, 1984, p. 5.

[6] *Finkel, E. E., Lescenko, S. S., Braghinskii, R. P* Radiaționnaia himiia i kabelnaia tehnika Atomizdat 1968.

[7] *Ota, S.* Current status of irradiated heatshrinkable tubing in Japan. In : Radiat. Phys. Chem. vol. **18**, 1981, p. 81—87.

[8] *Mihalcea, I, Jipa, S., Ilie, S., Cazac, C., Contineanu, V., Zaplaie, M.* Tuburi termocontractabile din polietilenă reticulată radiochimic. In : Materiale plastice, vol. **20** 1983, p. 113—116.

[9] *Puig, J. R.* Proceedings of 7-the Conf. Radioisotopes, Tokyo 1966, p. 650.

[10] *Bolt, R.O., Carroll, I.G.* Ed. Radiation effects on organic materials. Academic. Press, 1963. cap. 7, p. 245.

[11] *Kuzminskii, A. S., Fedoseeva, T. S., Mahils, F. A.* In : Journ.Vsesoiuz. Him. Obscestv. vol. **18**, 1973, p. 28 5.

[12] *Prane, J. W.* Radiation curable adhesives. Growth is coming. In : Polymer News, vol. **6**, 1980. p. 265—267.

[13] *Dowbenko, R. Christenson, R. M., Anderson, C. C., Maska, R.* Radiation polymerization for pressuresensitive adhesives. In Chemtech., sep 1974, p. 539—543.

[14] *Diakova, V.* Sbornik dokladov konferenții po voprosam radiațio-tehnologhii, CAER S.E.V. Budapesta, oct 1972, p. 225.

[15] *Koslov, G. D., Laricev, A. V., Lisnicii, V. E., Babkin, J. Iu., Siriaeva, G. V., Tatarenko, O. F.* Radiaționno-himiceskaia modificația polimernih materialov, Varșovia 1978, vol. **2**, p. 726.

[16] *Drawe, H.* Elektronenstrahllackhârtung. In : Chemiker Zeitung, vol. **104**, 1980, p. 189—193.

[17] *Hashimoto, K., Saralya, S.* Chemistry of radiation curable inks. In : American Ink Maker, ian. 1981, p. 20, 21, 24, 26, 49, 50.

[18] *Zeppenfeld., G.* Brevet Anglia nr. 1.410.261, 15 oct 1975.

[19] * * * D.V. Efremov Scientific Research Institute of Electrophysical Apparatus. Catalog 36—M—597, 1980, p. 8.

[20] Breger, A.H. Radiaționno-himiceskaia tehnologhiia. Eio zadaci i metodi. Atomizdat, 1979, p. 23.

[21] *Meleșevici, A. P.* Dostijenia prikladnoi radiaționnoi himii, Kiev, 1980, p. 11.

[22] *Nablo, S. V., Denholm, A. S.* Electron curing of coatings and adhesives for wire and cable. In : J. Radiation Curing, iulie, 1980, p. 11—21.

[23] *Siriaeva, G. V., Raiciuc, F. Z., Tatarenko, O. F.* Primenenie ioniziruiușcego izlucenia Dlia polucenia napolnenih sistem. In : Jurn. Vsesoiuzn. Him. Obscerstv. vol, **18**, 1973, p. 305—307.

[24] *Urban, R. C.* Brevet SUA nr. 4. 268, 339, 19 mai 1981.

[25] *Mileo, J. C.* Compositions de revêtement réticulables par bombardement électronique. In : Revue de l'Institut Francais du Pétrole vol. **31**, 1976, p. 665—685.

[26] *Cresswell, W. M., Fiedor, J. R.* Brevet SUA nr. 3.881. 964, 6 mai 1975.

[27] * * * Brevet Anglia nr. 1. 413. 369, 12 noiembrie 1975.

[28] *Felice, E. P., Bartko, J., Tarneja, S. K.* Brevet RFG nr. 2. 951. 925, 10 iulie 1980.

[29] *Okamura, M., Shirasawa, T., Tanaka,* T. Brevet SUA nr. 4.201.598, 6 mai 1980.

[30] * * * Brevet Japonia nr. 68.671, 23 mai 1980; Rezumat Chem. Abstr. vol. **93**/1980; 196.516 k.

[31] *Hokuyo, S., Gamo, H., Kawakami, A., Horie, K.* Brevet Canada nr. 1.097.824, 16 martie 1981.

[32] *Vitman, R. F., Kutlakhmetor, V. A., Reshetin, V. P., Shakhovtsor, V. I.* Switching-off times for thyristors exposed to gamma irradiation. In : Fiz. Tekh. Poluprovodn., **9**, nr. 2, 1975, p. 338—341. 33.

[33] *Roberts, S. J., Cresswell, W. M.* Brevet SUA nr. 3.840.887, 8 octombrie 1974.

[34] *Chu Chang, K., Bartko, J., Felice, P. E.* Brevet SUA nr. 3.881.963, 6 mai 1975.
[35] *Takahashi, S., Tsukuda,* K. Brevet Japonia nr. 8.11.331, 26 ianuarie 1980; Rezumat Chem. Abstr. vol. **92**/1980, 225.300.
[36] * * * Brevet Japonia nr. 16.537, 2 mai 1980. Rezumat Chem. Abstr. vol **93**/1980, 178.330 r.
[37] * * * Kunstoffe, **6**, 10, 1971, p. 785.
[38] *Rieke, J. K. Hart, G. M.* J. Polym. Sci., Cl. 1963, p. 117.
[39] *Turuhashi, A., Kadomaga, M.* J. Appl. Polym. Sci., 10, 1966, p. 127.
[40] * * * Brevet Japonia nr. 447.351, 1969.
[41] *Black, J., Silverman, J.* J. Polym. Sci. C, 42, 1973, p. 191.
[42] *Kabanov, J. Io., Sidorova, L. P.* Visokomolek. Svedin. A, 15, 1973, p. 1373.
[43] *Saravacos, G. D.* Food Irradiation, 3, A 6, 1962.
[44] *Sommer, N. F., Maxie, E. C.* Food Irradiation, IAEA, Viena, 1966, p. 571.
[45] *Vidal, P.* Fond Irradiation, IAEA, Viena, 1966, p. 589.
[46] *Bandyopadhyay, C., Tewari, G. M., Sreemivasan, M.* Radiation Preservation of Food. IAEA, Viena, 1973, p. 111.
[47] *Podan, P.* Sbornik Dokladov SEV, Budapesta, 1972.
[48] * * * Isotopes in Day to Day life, IAEA, Viena 1977.
[49] *Philips, G.* In : Manual on Radiation Sterilization of Medical and Biological Materials. IAEA, Viena, 1973, p. 225.
[50] *Crowford, G. C.* In : Manual on Radiation Sterilization of Medical and Biological Materials Tech. Rep. Ser. nr. 149, IAEA, Viena, 1973, p. 153.
[51] *Laizier, J.* Radiation Processing, 7—9, 1977. p. 3.
[52] *Groneman, A. P.* (editor) „Radiation for Pollution Abatement" ESMA Conf. München, 1976.
[53] *Bruchin, A.* Internat. J. Radiation Sterilization 1, 1974, p. 293.
[54] *Steinberg, M.* Trans. Amer. Nucl. Sci., 13 (1), 1970, p. 68.
[55] *Fan, L. T., Retzlaff,* D. G., Vanderpool, W.D. Environ. Science and Technology, 6, 1970, p. 1085.
[56] *Kawamura, T.* Ref. 1., IAEA—SM—194/707.

CZ 621.313.2 : 621.3

MOTOR DE CURENT CONTINUU
FRÎNARE DINAMICĂ

Regimurile tranzitorii de frînare dinamică în sistemele de acționare cu motor de curent continuu

CAROL SAAL* — BRAȘOV

Introducere

Dintre regimurile de frînare nerecuperative, utilizate în sistemele de acționare cu motor de curent continuu cu flux de excitație constant (cu excitație independentă, derivație și cu magneți permanenți), regimul de frînare dinamică sau reostatică ocupă un rol important, justificat în manualele și cursurile de specialitate mai ales prin pierderile relativ reduse ce au loc. Descrierea sa cantitativă se bazează, de obicei, pe modele matematice liniare de ordinul unu, la care se ajunge prin neglijarea inductanței proprii a circuitului rotoric. În anumite situații, care apar destul de frecvent și cînd se utilizează servomotoare de curent continuu, se poate ajunge totuși la erori relativ importante folosind relațiile deduse pe baza modelelor de ordinul unu, mai ales cînd rezistența suplimentară de limitare a curentului este redusă [1].

În această lucrare se examinează aspectele de calcul al regimurilor tranzitorii de frînare dinamică ale mașinilor de curent continuu cu flux de excitație constant, bazate pe patru modele matematice liniare de ordinul doi, ce pot fi atașate subsistemului mașină de curent continuu — mașină de lucru din cadrul sistemelor de acționare electrice, în ipoteze de calcul în general admise. Evoluțiile temporale ale vitezei unghiulare și curentului rotoric pot fi calculate cu relații exprimate normat, puse sub forma cea mai simplă. Sînt folosite modele matematice prezentate în lucrări anterioare [2,3]. Un exemplu de calcul detaliat ușurează aplicarea metodicii de calcul.

* Prof. dr. ing. *Saal, C.* — Universitatea din Brașov.

1. Ipoteze de calcul

Se admite invariabilitatea următorilor parametri ai mașinii de curent continuu : L_A, R_A — inductanța proprie, respectiv rezistența totală, ale circuitului rotoric; Φ — fluxul magnetic fascicular rezultant pe polul principal; J — momentul total axial de inerție al sistemului de acționare, redus la arborele mașinii electrice. Nu se iau deci în considerație saturația magnetică și reacțiunea indusului.

Cuplul static redus la arborele mașinii electrice se admite ca fiind :

$$m_s = M_s + F\omega, \tag{1}$$

cu M_s și F constante (M_s putînd fi de tip reactiv și potențial, F fiind factorul de frecare vîscoasă), iar ω—viteza unghiulară a arborelui mașinii electrice de acționare.

La începerea regimului de frînare dinamică, mașina electrică se găsește în regim staționar de motor, avînd viteza unghiulară inițială :

$$\Omega_i = \Omega_0 - \frac{R_a I_i}{c}, \tag{2}$$

unde $\Omega_0 = U/c$ reprezintă viteza de funcționare în gol ideală, I_i curentul rotoric în acel regim staționar, c fiind constanta de cuplu sau de tensiune electromotoare ($c = k\Phi = pN\Phi/2\pi a$, cu notațiile clasice). Cuplul electromagnetic dezvoltat de motor în regimul staționar inițial este :

$$M_i = cI_i = M_s + F\Omega_i, \tag{3}$$

respectiv curentul inițial :

$$I_i = I_s + \frac{F\Omega_i}{c}. \tag{4}$$

Aici $I_s = M_s/c$ este curentul rotoric corespunzător cuplului static constant M_s.

2. Ecuațiile de stare ale sistemului de acționare

Din momentul trecerii în regimul de frînare dinamică, respectiv de cînd schema electrică a devenit cea din figura 1, circuitul rotoric fiind conectat pe el însuși pe rezistența totală R_A, *ecuația de funcționare* a mașinii de acționare este :

$$e = R_A i_A + L_A \frac{\mathrm{d}i_A}{\mathrm{d}t}, \tag{5}$$

tensiunea electromotoare indusă prin rotație pe calea de curent a înfășurării rotorice fiind $e = k\Phi\Omega = c\Phi$. *Ecuația de mișcare* a sistemului de acționare este :

$$m = M_s + F\omega + J\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}. \tag{6}$$

Cuplul electromagnetic al mașinii este :

$$m = k\Phi i_A = ci_A. \tag{7}$$

Eliminarea mărimilor e și m în ecuațiile (5), (6) conduce la *ecuațiile de stare* ce caracterizează regimul de frînare dinamică :

$$-\frac{c\omega}{R_A} = i_A + \tau_A \frac{\mathrm{d}i_A}{\mathrm{d}t},$$

$$i_A = I_s + \frac{c}{R_A}\tau_M \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} + \frac{J}{c\tau_D}\omega. \tag{8}$$

S-au notat :

$$\tau_A = \frac{L_A}{R_A}; \quad \tau_M = \frac{JR_A}{c^2}; \quad \tau_D = \frac{J}{F}, \tag{9}$$

acestea reprezentînd constantele de timp : electromagnetică a circuitului rotoric τ_A, electromecanică τ_M și de amortizare τ_D ale subsistemului de acționare.

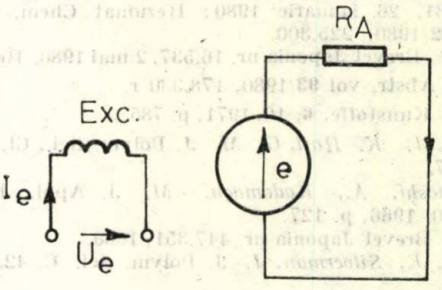


Fig. 1. Schema electrică a mașinii de curent continuu cu excitație separată, în regim de frînare dinamică sau reostatică.

3. Modelele matematice de ordinul doi

Cu acceptarea ipotezelor de calcul de la punctul 1 și considerînd inductanța $L_A \neq 0$, se pot obține patru modele matematice liniare de ordinul doi, ce vor fi notate cu *21*, *22*, *23*, *24*. În tabelul 1 s-a indicat care din parametrii M_s și F se neglijează sau nu în fiecare din aceste modele ; cel mai complet model este *24* ($M_s \neq 0, F \neq 0$), cel mai simplu fiind *21* ($M_s = 0, F = 0$).

Curenții rotorici de regim staționar vor fi, în cele patru modele matematice liniare de ordinul doi :

$$I_{21} = I_{22} = 0; \quad I_{23} = I_s = \frac{M_s}{c};$$

$$I_{24} = \frac{I_s}{1+\rho} = \frac{\delta I_s}{\delta + \gamma}, \tag{10}$$

iar vitezele unghiulare de regim staționar :

$$\Omega_{21} = \Omega_{22}; \quad \Omega_{23} = -\Delta\Omega_s = -\frac{R_A I_s}{c};$$

$$\Omega_{24} = -\frac{\Delta\Omega_s}{1+\rho} = -\frac{\delta\Delta\Omega_s}{\delta+\gamma}. \tag{11}$$

Mai sus intervin rapoartele adimensionale ale constantelor de timp ;

$$\delta = \frac{\tau_A}{\tau_M}; \quad \gamma = \frac{\tau_A}{\tau_D}; \quad \rho = \frac{\tau_M}{\tau_D} = \frac{\gamma}{\delta}. \tag{12}$$

În situația unui cuplu static M_s de tip reactiv, atît curenții, cît și vitezele unghiulare de regim staționar sînt nule, acest regim terminîndu-se prin imobilizarea sistemului de acționare, totul petrecîndu-se ca și cum M_s se anulează la anularea vitezei unghiulare instantanee. Expresiile indicate pentru curenții și vitezele unghiulare de regim permanent în modelele *23* și *24* (relațiile (10) și (11)) sînt valabile numai dacă cuplul static M_s este de natură potențială.

Tabelul 1

Viteza unghiulară și curentul rotoric de regim staționar, în regimul de frînare dinamică

Modelul	Mărimi neglijate	Viteza unghiulară	Curentul rotoric	Comentarii, notații
21	F; M_s	$\Omega_{21} = 0$	$I_{21} = 0$	Cel mai simplu model de ordinul doi.
22	M_s	$\Omega_{22} = 0$	$I_{22} = 0$	$\delta = \frac{\tau_A}{\tau_M}$;
23	F	$\Omega_{23} = -\Delta\Omega_s = -\frac{R_A I_s}{c} = -\frac{R_A M_s}{c^2}$	$I_{23} = I_s = \frac{M_s}{c}$	$\gamma = \frac{\tau_A}{\tau_D}$; $\rho = \frac{\tau_M}{\tau_D} = \frac{\gamma}{\delta}$.
24	—	$\Omega_{24} = -\frac{\Delta\Omega_s}{1+\rho} = -\frac{\delta\,\Delta\Omega_s}{\delta+\gamma}$	$I_{24} = \frac{I_s}{1+\rho} = \frac{\delta I_s}{\delta+\gamma}$	Cel mai complet model de ordinul doi.

4. Rezolvarea sistemului ecuațiilor de stare

Sistemul de ecuații diferențiale (8) se poate rezolva prin diferite metode, ținînd seama de condițiile inițiale din momentul începerii frînării. Acestea vor fi, în cele patru modele matematice:

$$\omega_{21}(0) = \Omega_0; \quad \omega_{22}(0) = \omega_{23}(0) = \omega_{24}(0) = \Omega_i; \tag{13}$$
$$i_{21}(0) = 0; \quad i_{22}(0) = i_{23}(0) = i_{24}(0) = I_i.$$

Modelul *21* corespunzînd funcționării inițiale în regim de motor în gol ideal, viteza unghiulară $\omega_{21}(0)$ coincide cu viteza unghiulară în gol ideală, curentul $i_{21}(0)$ fiind nul.

4.1. Transformatele Laplace ale vitezei unghiulare și curentului rotoric

În tabelul 2 s-au concentrat transformatele Laplace ale vitezei unghiulare și curentului rotoric ale mașinii de curent continuu cu flux de excitație constant în regim de frînare dinamică. Polinoamele de gradul doi în s, variabila complexă:

$$Q_1(s) = 1 + \tau_M s + \tau_A \tau_M s^2 \tag{14}$$

și:

$$Q_2(s) = 1 + \rho + \tau_M(1+\gamma)s + \tau_A\tau_M s^2, \tag{15}$$

indică posibilitatea apariției fenomenelor periodice amortizate din cursul frînării dinamice

Tabelul 2

Transformatele Laplace ale vitezei unghiulare și curentului rotoric ale mașinii de curent continuu în regim de frînare dinamică (flux pe pol constant)

Modelul	$\mathfrak{L}[\omega(t)]$	$\mathfrak{L}[i_A(t)]$	Notații
21	$\omega_{21} = \frac{\tau_M(1+\tau_A s)\Omega_0}{Q_1(s)}$	$i_{21} = -\frac{\tau_M I_M}{Q_1(s)}$	$\Omega_0 = \frac{U}{c}$; $I_M = \frac{U}{R_A}$;
22	$\omega_{22} = \frac{\Delta\Omega_i \tau_A + \tau_M(1+\tau_A s)\Omega_i}{Q_2(s)}$	$i_{22} = \frac{\tau_A I_i}{1+\tau_A s}\left[1 - \frac{1}{Q_2(s)}\right] - \frac{\tau_M(I_M - I_i)}{Q_2(s)}$	$I_s = \frac{M_s}{c}$; $\omega(+0) = \Omega_i$; $i_A(+0) = I_i$; $\Omega_s = \Omega_0 - \Delta\Omega_s$; $\Omega_i = \Omega_0 - \Delta\Omega_i$;
23	$\omega_{23} = \frac{\tau_M(1+\tau_A s)\Omega_s - \frac{\Delta\Omega_s}{s}}{Q_1(s)}$	$i_{23} = \frac{\tau_A I_s}{1+\tau_A s}\left[1 - \frac{1}{Q_1(s)}\right] + \frac{I_s - s\tau_M(I_M - I_s)}{s\,Q_1(s)}$	$\Delta\Omega_i = \frac{R_A I_i}{c}$; $\Delta\Omega_s = \frac{R_A I_s}{c}$.
24	$\omega_{24} = \frac{(\Delta\Omega_i - \Delta\Omega_s)\tau_A + \tau_M(1+\tau_A s)\Omega_i - \frac{\Delta\Omega_s}{s}}{Q_2(s)}$	$i_{24} = \frac{\tau_A I_s}{1+\tau_A s}\left[1 - \frac{1}{Q_2(s)}\right] + \left[\frac{I_s}{s} - \tau_M(I_M - I_i)\frac{1}{Q_2(s)}\right]$	$Q_1(s)$: relația (14); $Q_2(s)$: relația (15).

Tabelul 3

Tipurile de funcţionare tranzitorie ale sistemelor de acţionare cu maşină de curent continuu, în regim de frînare dinamică

Modelele	Tipul regimului tranzitoriu	Condiţia	Modelele	Condiţia
21 + *23*	1° — aperiodic	$4\,\delta < 1$, sau : $4\,\tau_A < \tau_M$	*22* + *24*	$4\,\delta < (1-\gamma)^2$, sau : $4(\tau_A/\tau_M) < [1-(\tau_A/\tau_D)]^2$
	2° — aperiodic critic	$4\delta = 1$, sau : $4\,\tau_A = \tau_M$		$4\,\delta = (1-\gamma)^2$, sau : $4\,(\tau_A/\tau_M) = [1-(\tau_A/\tau_D)]^2$
	3° — oscilant amortizat	$4\,\delta > 1$, sau : $4\,\tau_A > \tau_M$		$4\,\delta > (1-\gamma)^2$, sau : $4(\tau_A/\tau_M) > [1-(\tau_A/\tau_D)]^2$

4.2. Evoluţiile temporale ale vitezei unghiulare şi curentului rotoric

Tipurile de funcţionare tranzitorie ale sistemelor de acţionare cu maşină de curent continuu în regim de frînare dinamică, aperiodice şi oscilant amortizate, cît şi condiţiile ce trebuie satisfăcute pentru realizarea lor, se prezintă în tabelul 3. În concordanţă cu acest tabel, în fiecare model matematic de ordinul doi se vor întîlni regimurile : 1^0 — aperiodic; 2^0 — aperiodic critic;
3^0 — oscilant amortizat.

Pentru o mai bună generalizare, vitezele unghiulare şi curenţii rotorici au fost normaţi după cum urmează :

$$\omega_{21}^* = \frac{\omega_{21}}{\Omega_0}; \quad \omega_{22}^* = \frac{\omega_{22}}{\Omega_i}; \quad \omega_{23}^* = \frac{\omega_{23}}{\Omega_{23}}; \quad \omega_{24}^* = \frac{\omega_{24}}{\Omega_{24}}; \tag{16}$$

$$i_{21}^* = \frac{i_{21}}{I_M}; \quad i_{22}^* = \frac{i_{22}}{I_i}; \quad i_{23}^* = \frac{i_{23}}{I_{23}}; \quad i_{24}^* = \frac{i_{24}}{I_{24}}. \tag{17}$$

Aici $I_M = U/R_A$, U fiind tensiunea aplicată rotorului în regim staţionar de motor; I_M se vede că este curentul rotoric staţionar, cînd rotorul este imobil.

Timpul normat sau relativ t^*, ce intervine în expresiile adimensionale $\omega_{2q}^*(t)$, $i_{2q}^*(t)$ s-a introdus astfel :

$$t^* = \frac{t}{2\tau_A}, \tag{18}$$

adică prin împărţirea timpului la dublul constantei electromagnetice de timp a circuitului rotoric. După efectuarea calculelor s-au obţinut expresiile analitice adimensionale pentru viteza unghiulară normată şi curentul rotoric normat, corespunzătoare celor trei tipuri de funcţionare tranzitorie în regim de frînare dinamică a maşinii de curent continuu.

4.2.1. Evoluţia temporală a vitezei unghiulare normate

1° Regimuri aperiodice

$$\omega_{21}^* = \frac{\operatorname{sh}(\Omega_1 * t^* + \alpha_{21})}{\operatorname{sh}\alpha_{21}} e^{-t^*},$$

$$\omega_{22}^* = \frac{\operatorname{sh}(\Omega_2 * t^* + \alpha_{22})}{\operatorname{sh}\alpha_{22}} e^{-at^*},$$

$$\omega_{23}^* = 1 - \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega_s} e^{-t^*} \frac{\operatorname{sh}(\Omega_1 * t^* + \alpha_{23})}{\sin\alpha_{23}}, \tag{19}$$

$$\omega_{24}^* = 1 - \left(1 + \frac{1+\rho}{\Delta\Omega_s}\Omega_i\right) \frac{\operatorname{sh}(\Omega_2 * t^* + \alpha_{24})}{\operatorname{sh}\alpha_{24}} e^{-at^*}.$$

2° Regimuri aperiodice critice

$$\omega_{21}^* = (1 + t^*)\, e^{-t^*},$$

$$\omega_{22}^* = \left\{\left[2\left(\frac{\delta\Delta\Omega_i}{\Omega_i} + 1\right) - a\right] t^* + 1\right\} e^{-at^*},$$

$$\omega_{23}^* = 1 - \left[1 - t^* + (1 + t^*)\frac{\Omega_s}{\Delta\Omega_s}\right] e^{-t^*}, \tag{20}$$

$$\omega_{24}^* = 1 - \frac{1+\rho}{\Delta\Omega_s}\left\{\left\{2\left[\delta(\Delta\Omega_i - \Delta\Omega_s) + \Omega_i + a\left(\frac{\Delta\Omega_s}{1+\rho} - \Omega_i\right)\right\} t^* + \Omega_i + \frac{\Delta\Omega_s}{1+\rho}\right\} e^{-at^*}.$$

3° Regimuri periodice amortizate

$$\omega_{21}^* = \frac{\sin(\Omega_1' * t^* + \alpha_{21}')}{\sin\alpha_{21}'} e^{-t^*},$$

$$\omega_{22}^* = \frac{\sin(\Omega_2' * t^* + \alpha_{22}')}{\sin\alpha_{22}'} e^{-at^*}, \tag{21}$$

$$\omega_{23}^* = 1 - \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega_s} \frac{\sin(\Omega_1' * t^* + \alpha_{24}')}{\sin\alpha_{23}'} e^{-t^*},$$

$$\omega_{24}^* = 1 - \left(1 + \frac{1+\rho}{\Delta\Omega_s}\Omega_i\right) \frac{\sin(\Omega_2' * t^* + \alpha_{24}')}{\sin\alpha_{24}'} e^{-at^*}.$$

4.2.2. Evoluția temporală a curentului rotoric normat

1° Regimuri aperiodice

$$i_{21}^* = -2\frac{\operatorname{sh}(\Omega_{1*}t^*)}{\Omega_{1*}}e^{-t^*},$$

$$i_{22}^* = \frac{\operatorname{sh}(\Omega_{2*}t^* + \varkappa_{22})}{\operatorname{sh}\varkappa_{22}}e^{-at^*},$$

$$i_{23}^* = 1 - \frac{2}{I_s^*}\frac{\operatorname{sh}(\Omega_{1*}t^*)}{\Omega_{1*}}e^{-t^*}, \qquad (22)$$

$$i_{24}^* = 1 - \left[1 - \frac{(1+\rho)I_i}{I_s}\right]\frac{\operatorname{sh}(\Omega_{2*}t^* + \varkappa_{24})}{\operatorname{sh}\varkappa_{24}}e^{-at^*}.$$

2° Regimuri aperiodice critice

$$i_{21}^* = -2t^*e^{-t^*},$$

$$i_{22}^* = 1 - (1-\gamma)t^*e^{-at^*},$$

$$i_{23}^* = 1 - 2t^*e^{-t^*}, \qquad (23)$$

$$i_{24}^* = 1 - \left\{1 + at^* + \frac{(1+\rho)I_i}{I_s}[(1-\gamma)t^* - 1]\right\}e^{-at^*}.$$

3° Regimuri periodice amortizate

$$i_{21}^* = -2\frac{\sin(\Omega_{1*}t^*)}{\Omega_{1*}}e^{-t^*},$$

$$i_{22}^* = \frac{\sin(\Omega'_{2*}t^* + \varkappa'_{22})}{\sin\varkappa'_{12}}e^{-at^*}, \qquad (24)$$

$$i_{23}^* = 1 - \frac{2}{I_s^*}\frac{\sin(\Omega'_{2*}t^*)}{\Omega'_{1*}}e^{-t^*},$$

$$i = 1 - \left[1 - \frac{(1+\rho)I_i}{I_s}\right]\frac{\sin(\Omega'_{2*}t^* + \varkappa'_{24})}{\sin\varkappa'_{24}}e^{at^*}.$$

Diferitele mărimi constante introduse în relațiile din § 4.2.1 și 4.2.2 sînt redate în tabelul 4. Prin acestea intervin, de fapt, diferiții parametri electromecanici și magnetici ai subsistemului de putere din cadrul sistemului de acționare.

Reprezentările grafice ale curentului rotoric și vitezei unghiulare în cursul frînării nu prezintă dificultăți. Pentru trasarea curbelor se pot utiliza calculatoare electronice, chiar și de buzunar neprogramabile.

Tabelul 4

Mărimi auxiliare reale introduse în relațiile (19) ... (24)

$\Omega_{1*} = \sqrt{1-4\delta}$; $\Omega_{2*} = \sqrt{(1-\gamma)^2 - 4\delta}$; $a = 1+\gamma$; $I_M = \frac{U}{R_A}$; $I_i^* = \frac{I_i}{I_M}$; $\Omega'_{1*} = \sqrt{4\delta - 1}$; $\Omega'_{2*} = \sqrt{4\delta - (1-\gamma)^2}$; $I_s^* = \frac{I_s}{I_M} = \frac{\Delta\Omega_s}{\Omega_0}$.
$\alpha_{21} = \alpha_{23} = \operatorname{argth}\Omega_{1*}$; $\operatorname{sh}\alpha_{21} = \operatorname{sh}\alpha_{23} = \frac{\Omega_{1*}}{2\sqrt{}}$; $\alpha'_{21} = \alpha'_{23} = \operatorname{arctg}\Omega'_{1*}$; $\sin\alpha'_{21} = \sin\alpha'_{23} = \frac{\Omega'_{1*}}{2\sqrt{\delta}}$; $\alpha_{22} = \alpha_{24} = \operatorname{argth} A_{24}\Omega_{2*}$; $\alpha'_{22} = \alpha'_{24} = \operatorname{arctg} A_{24}\Omega'_{2*}$; $A_{24} = \frac{(1+\rho)\Omega_i + \Delta\Omega_s}{(1-\gamma-2\delta)\Delta\Omega_s + (1+\rho)[2\delta\Delta\Omega_i + (1-\gamma)\Omega_i]}$.
$x_{22} = \operatorname{argth} B_{22}\Omega_{2*}$; $\operatorname{sh}\varkappa_{22} = \frac{I_i^*\Omega_{2*}}{2\sqrt{(\gamma+\delta)I_i^2 + aI_i^* + 1}}$; $\operatorname{tg}\varkappa'_{22} = B_{22}\Omega'_{2*}$; $x_{24} = \operatorname{argth} B_{24}\Omega_{2*}$; $\operatorname{tg}\varkappa'_{24} = B_{24}\Omega'_{2*}$.
$B_{22} = \frac{I_i^*}{aI_i^* - 2}$; $B_{24} = \frac{I_s^* - (1+\rho)I_i^*}{aI_s^* + (1+\rho)(2 - aI_i^*)}$.
$\Delta\Omega_s = \frac{R_A I_s}{c}$; $\Delta\Omega_i = \frac{R_A I_i}{c}$; $\Omega_i = \Omega_0 - \Delta\Omega_i$; $\Omega_0 = \frac{U}{c}$.
δ, γ, ρ: relațiile (12).
In general: $\operatorname{sh}\varphi = \frac{\operatorname{th}\varphi}{\sqrt{1-\operatorname{tg}^2\varphi}}$; $\sin\alpha = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}}$.

Calculul curentului rotoric normat I^*_{24M}, în situaţia modelului *24* aperiodic, nu comportă greutăţi. Din ecuaţia $di^*_{24}/dt^* = 0$ se găseşte timpul relativ t^*_M la care apare acest curent:

$$t^*_M = \frac{1}{\Omega_{2*}} \operatorname{arg\,th}\left[\frac{\Omega_{2*}(1 - aB_{24})}{a - \Omega^2_{2*} + B_{24}}\right], \quad (25)$$

cu notaţiile din tabelul 4, cu care:

$$I^*_{24M} = i^*_{24}(t_M)$$

şi deci curentul rotoric maxim absolut este:

$$I_{24M} = I_{24} i^*_{24}(t_M). \quad (26)$$

În mod similar se va proceda şi în cadrul altor modele. Se poate calcula uşor şi viteza maximă de variaţie a curentului rotoric $(di_A/dt)_{max}$, necesară mai ales în cazul utilizării de elemente de circuit neliniare de tip tiristor.

5. Concluzii şi utilizări

Relaţiile analitice deduse pentru calculul evoluţiei temporale a vitezei unghiulare şi a curentului rotoric ale maşinii de curent continuu de acţionare, funcţionînd cu flux magnetic constant în regimul de frînare dinamică sau reostatică, au fost puse sub cea mai simplă formă normată, pentru patru modele matematice de ordinul doi. Aceste relaţii interesează în diferite scopuri, printre care evaluarea eforturilor dinamice în eventualele transmisii cinematice şi a solicitărilor termice ale înfăşurării rotorice. Se poate aprecia că erorile ce pot interveni în practică, datorită diferitelor neliniarităţi posibile dar neglijate în modelele liniare, vor fi mai mici la servomotoarele de curent continuu cu întrefier mai mare, cît şi la maşinile de acţionare bine compensate.

O aplicaţie importantă a expresiilor analitice deduse o constituie posibilitatea trasării caracteristicilor mecanice dinamice de frînare reostatică. Acestea vor putea fi trasate prin punctele obţinute în planul caracteristicilor mecanice prin perechile de mărimi (m, ω), cu $m = ci_A$, pentru fiecare timp relativ t^* drept parametru.

6. Exemplu de calcul

Un motor de curent continuu cu excitaţie independentă are datele nominale:
$P_N = 55$ kW, $U_N = 220$ V; $n_N = 575$ rot/min; $I_{AN} = 300$ A, $R_a = 0{,}026$ ohmi, $L_A = 6$ mH, $J_m = 6{,}25$ kg m^2.

Funcţionînd în regimul staţionar de motor, cu un cuplu static potenţial redus la arbore $M_s = 0{,}6\ M_N$ şi factorul de frecare vîscoasă $F = 8$ Nms/rad, maşina de acţionare se frînează dinamic pe o rezistenţă totală în circuitul rotoric $R_A = 8R_a$. Factorul de inerţie al sistemului de acţionare este $FI = 2$.

Să se scrie expresiile analitice temporale ale curentului rotoric şi vitezei unghiulare în situaţia dată şi să se traseze grafic cele două mărimi (modelul *24*); idem, în cazul $F = 0$ (modelul *23*).

Rezolvare

a. Calcule preliminare

Cu datele de mai sus se determină:

$$c = k\Phi = \frac{U_N - R_a I_{AN}}{\Omega_N} = 3{,}53 \text{ Wb};$$

$$M_N = cI_{AN} = 1\,059 \text{ Nm},$$

aici viteza unghiulară nominală este:

$$\Omega_N = \frac{\pi n_N}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 575}{30} = 60{,}18 \text{ rad/s}.$$

Viteza unghiulară de funcţionare în gol ideală este:

$$\Omega_0 = \frac{U_N}{c} = \frac{220}{3{,}53} = 62{,}3 \text{ rad/s}.$$

Momentul total de inerţie al sistemului de acţionare electrică, redus la arborele motorului, rezultă a fi:

$$J = FI \cdot J_m = 2.6{,}25 = 12{,}5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Constantele de timp din cursul frînării, calculate cu rezistenţa rotorică totală $R_A = 8R_a = 8.0{,}026 = 0{,}208$ ohmi, sînt:

$$\tau_A = \frac{L_A}{R_A} = \frac{0{,}006}{0{,}008} = 0{,}0289 \text{ s};$$

$$\tau_M = \frac{JR_A}{c^2} = \frac{12{,}5 \cdot 0{,}208}{3{,}53^2} = 0{,}209 \text{ s};$$

$$\tau_D = \frac{J}{F} = \frac{12{,}5}{8} = 1{,}563 \text{ s}.$$

Rapoartele acestor constante de timp au valorile:

$$\delta = \frac{\tau_A}{\tau_M} = \frac{0{,}0289}{0{,}209} = 0{,}139;$$

$$\gamma = \frac{\tau_A}{\tau_D} = \frac{0{,}0289}{1{,}563} = 0{,}0185.$$

$$\rho = \frac{\tau_M}{\tau_D} = \frac{0{,}209}{1{,}563} = 0{,}1337.$$

Modelul 24

Trebuie determinate preliminar Ω_i și I_i, viteza unghiulară inițială, respectiv curentul rotoric inițial, din momentul începerii frînării, adică a terminării regimului staționar de motor. Deoarece:

$$\Omega_i = \Omega_0 - \frac{R_a I_i}{c}; \quad I_i = I_s + \frac{F\Omega_i}{c},$$

eliminarea lui I_i între aceste două relații duce la:

$$\Omega_i = \frac{\Omega_0 - \frac{R_a I_s}{c}}{1 + \frac{R_a F}{c^2}} = \frac{62{,}3 - \frac{0{,}026 \cdot 180}{3{,}53}}{1 + \frac{0{,}026 \cdot 8}{3{,}53^2}} =$$

$$= 60{,}00 \text{ rad/s.}$$

cu care:

$$I_i = I_s + \frac{F\Omega_i}{c} = 180 + \frac{8 \cdot 60}{3{,}53} = 315{,}98 \simeq 316 \text{ A},$$

curent foarte apropiat de cel nominal.

b 1. Curentul rotoric instantaneu de frînare

Curentul și viteza unghiulară de frînare, de regim permanent, vor fi:

$$I_{24} = \frac{I_s}{1 + \rho} = \frac{180}{1 + 0{,}1337} = 158{,}77 \text{ A};$$

$$\Omega_{24} = -\frac{\Delta\Omega_s}{1 + \rho} = -\frac{10{,}61}{1{,}1337} = -9{,}36 \text{ rad/s.}$$

Căderea de viteză unghiulară $\Delta\Omega_s$ de mai sus s-a calculat cu relația:

$$\Delta\Omega_s = \frac{R_A I_s}{c} = \frac{0{,}208 \cdot 180}{3{,}53} = 10{,}61 \text{ rad/s.}$$

Curenții relativi I_s^* și I_i^* sînt:

$$I_s^* = \frac{I_s}{I_M} = \frac{180}{1057{,}7} = 0{,}170;$$

$$I_i^* = \frac{I_i}{I_M} = \frac{316}{1057{,}7} = 0{,}299,$$

unde $I_M = U_N/R_A = 220/0{,}208 = 1057{,}7$ A.

Tipul frînării va fi aperiodic, deoarece

$$(1 - \gamma)^2 = (1 - 0{,}0185)^2 = 0{,}963 > 4\delta = 4 \cdot 0{,}1383 = 0{,}553$$

Rezultă:

$$\Omega_{2*} = \sqrt{(1 - \gamma)^2 - 4\delta} = \sqrt{0{,}963 - 0{,}553} = 0{,}640.$$

Cu: $a = 1 + \gamma = 1 + 0{,}0185 \simeq 1{,}019$, se obține:

$$B_{24} = \frac{I_s^* - (1 + \rho) I_i^*}{aI_s^* + (1 + \rho)(2 - aI_i^*)} =$$

$$= \frac{0{,}17 - 1{,}134 \cdot 0{,}299}{1{,}019 + 1{,}134(2 - 1{,}019 \cdot 0{,}299)} = -0{,}064,$$

avînd:

$$\text{th } \varkappa_{24} = B_{24}\,\Omega_{2*} = -0{,}064 \cdot 0{,}64 = -0{,}0401;$$

$$\varkappa_{24} = -\text{ argth } 0{,}0401 = -0{,}0401 \simeq \text{sh } \varkappa_{24}.$$

Curentul normat instantaneu de frînare va fi relația (22_4):

$$i_{24}^* = 1 - \left(1 - \frac{316}{158{,}8}\right) \frac{\text{sh}(0{,}64\, t^* - 0{,}0401)}{-0{,}0401} \cdot$$

$$\cdot e^{-1{,}019\, t^*} =$$

$$= 1 - 24{,}68 \text{ sh } (0{,}64 \cdot t^* - 0{,}0401)\, e^{-1{,}019 \cdot t^*}.$$

Însă timpul normat t^* are expresia:

$$t^* = \frac{t}{2\tau_A} = \frac{t}{2 \cdot 0{,}0289} = 17{,}3\, t.$$

Curentul rotoric instantaneu absolut va fi:

$$i_{24} = 158{,}77[1 - 24{,}68 \text{sh}(11{,}072t - 0{,}0401) e^{-17{,}63\, t}] \text{ A}$$

Vîrful de curent va avea loc la timpul relativ:

$$t_{24M}^* = \frac{1}{\Omega_{2*}} \text{arg th} \left[\frac{\Omega_{2*}(1 - aB_{24})}{a - \Omega_{2*}^2 B_{24}}\right] =$$

$$= 1{,}563 \text{ argth} \left[\frac{0{,}64(1 + 1{,}019 \cdot 0{,}064)}{1{,}019 + 0{,}64^2 \cdot 0{,}064}\right] =$$

$$= 1{,}563 \cdot \text{argth } 0{,}652 = 1{,}217,$$

adică în momentul:

$$t_{24M} = 2\tau_A\, t_{24M}^* = 2 \cdot 0{,}289 \cdot 1{,}217 = 0{,}07\ s,$$

de la începerea frînării. Valoarea absolută a vîrfului de curent este:

$$I_{24M} = |i_{24}(t_{24M})| \simeq 757 \text{ A},$$

c 1. Viteza unghiulară instantanee de frînare

Din tabelul 4 se calculează în prealabil A_{24}, în care $\Delta\Omega_s = 10{,}61$ rad/s, calculat anterior, şi:

$$\Delta\Omega_t = \frac{R_A I_t}{c} = \frac{0{,}208 \cdot 316}{3{,}53} = 18{,}62 \text{ rad/s},$$

celelalte mărimi fiind cunoscute. Se obţine:

$$A_{24} = \frac{1{,}134 \cdot 60 + 10{,}61}{(1 - 1{,}019 - 2 \cdot 0{,}138) \cdot 10{,}61 + 1{,}1377 \cdot (2 \cdot 0{,}138 \cdot 18{,}62 + 0{,}981 \cdot 60)} = 0{,}985,$$

cu care:

$$\text{th}\,\alpha_{24} = A_{24}\Omega_{2*} = 0{,}985 \cdot 0{,}64 = 0{,}63;$$

$$\alpha_{24} = \text{arg th}\ 0{,}63 = 0{,}742;$$

$$\text{sh}\,\alpha_{24} = \text{sh}\ 0{,}742 = 0{,}812.$$

Viteza unghiulară normată, (relaţia 19_4) va deveni:

$$\omega_{24}^* = 1 - 9{,}129 \cdot \text{sh}(0{,}64\, t^* + 0{,}742)\, e^{-1{,}019\, t^*},$$

viteza unghiulară absolută fiind:

$$\omega_{24} = -9{,}36[1 - 9{,}129 \cdot \text{sh}(11{,}072t + 0{,}742) e^{-17{,}63\, t}] \text{ rad/s}.$$

Modelul 23

În acest model curentul şi viteza unghiulară de frînare de regim permanent sînt:

$$I_{23} = I_s = 180 \text{ A};$$

$$\Omega_{23} = -\Delta\Omega_s = -10{,}61 \text{ rad/s}.$$

Viteza unghiulară iniţială se calculează astfel:

$$\omega_{23}(0) = \Omega_s = \Omega_0 - \Delta\Omega_s =$$

$$= 62{,}3 - 10{,}61 = 51{,}69 \text{ rad/s}.$$

b 2. Curentul rotoric instantaneu de frînare

Acest curent este dat de relaţia (22_3), în care:

$$\Omega_{1*} = \sqrt{1 - 4\delta} = \sqrt{1 - 0{,}556} = 0{,}666,$$

cu aceasta se obţine:

$$i_{23}^* = 1 - \frac{2}{I_s^*} \frac{\text{sh}(\Omega_{1*}\, t^*)}{\Omega_{1*}} e^{-t^*} =$$

$$= 1 - \frac{2 \cdot \text{sh}(0{,}666t^*)}{0{,}17 \cdot 0{,}666} e^{-t^*} =$$

$$= 1 - 17{,}665\ \text{sh}(0{,}665t^*)\, e^{-t^*}.$$

Curentul rotoric absolut poate fi scris sub forma:

$$i_{23} = 180\,[1 - 17{,}665\ \text{sh}\,(11{,}52\, t)\, e^{-17{,}3t}]\,(\text{A}).$$

Curentul rotoric de vîrf are loc la timpul relativ ce satisface ecuaţia $di_{23}^*/dt^* = 0$, adică:

$$t_{23M}^* = \frac{\text{arg th}\,\Omega_1^*}{\Omega_1^*} = \frac{\text{arg th}\ 0{,}666}{0{,}666} = 1{,}207,$$

respectiv la timpul absolut:

$$t_{23M} = 2\tau_A\, t_{23M}^* = 2 \cdot 0{,}0289 \cdot 1{,}207 = 0{,}0698 \simeq 0{,}07 \text{ s}.$$

Curentul de vîrf ce se atinge este în modul:

$$I_{23M} = |i_{23}(t_{23M})| = 669{,}4 \text{ A}.$$

c 2. Viteza unghiulară instantanee de frînare

Aceasta se obţine cu relaţia (21_3), în care:

$$\alpha_{23} = \text{argth}\,\Omega_{1*} = \text{argth}\ 0{,}666 = 0{,}804;$$

$$\text{sh}\,\alpha_{23} = 0{,}894;$$

aşadar:

$$\omega_{23}^* = 1 - \frac{\Omega_0}{\Delta\Omega_s} \frac{\text{sh}(\Omega_{1*}\, t^* + \alpha_{23})}{\text{sh}\,\alpha_{23}} e^{-t^*} =$$

$$= 1 - 6{,}568 \cdot \text{sh}(0{,}666\, t^* + 0{,}804)\, e^{-t^*},$$

viteza unghiulară instantanee absolută fiind

$$\omega_{23} = -10{,}61[1 - 6{,}568 \cdot \text{sh}(11{,}52t + 0{,}804)\, e^{-17{,}3t}] \text{ rad/s}.$$

În figura 2 s-au trasat graficele $i_{24}(t)$, $\omega_{24}(t)$, ca şi $i_{23}(t)$, $\omega_{23}(t)$. Ca şi la modelele mai cunoscute, de ordinul întîi, utilizate pentru descrierea frînării dinamice, se constată anularea, practic, simultană a curentului rotoric şi a vitezei

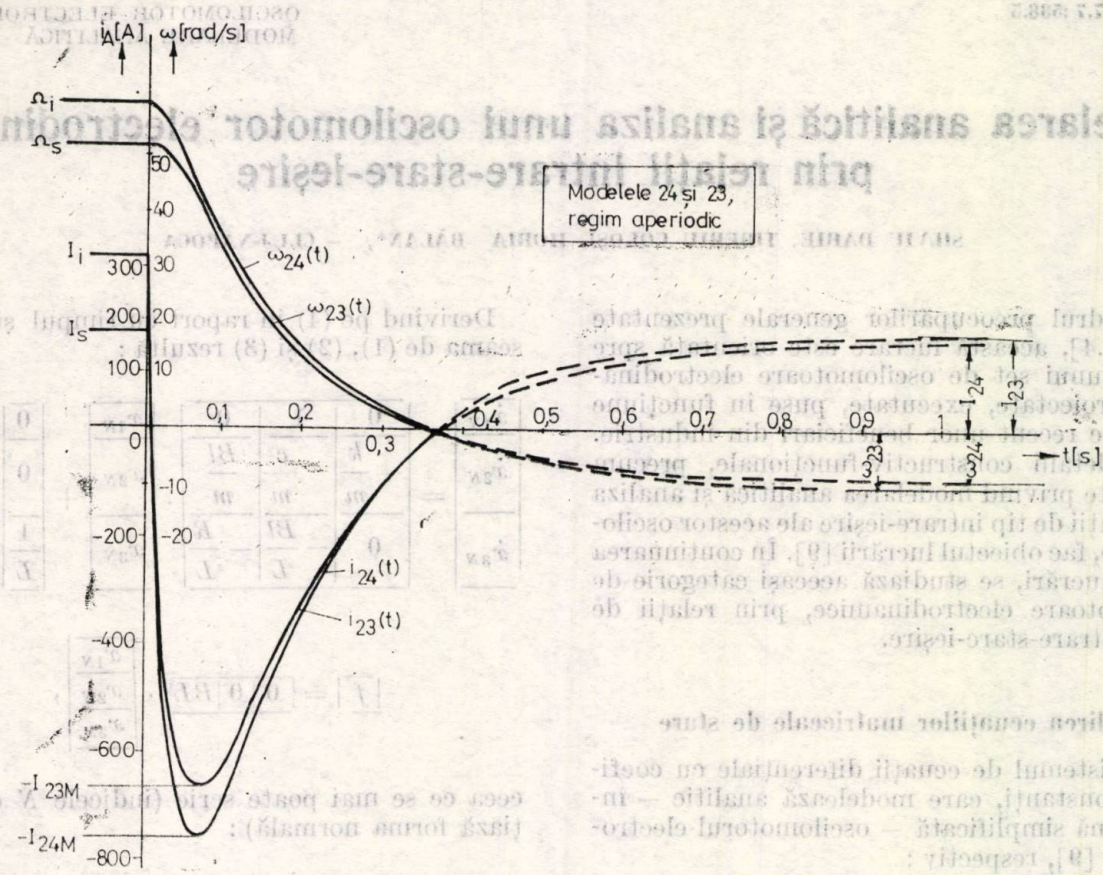


Fig. 2. Evoluția temporală a curentului și vitezei unghiulare, în modelele matematice *24* și *23* ale exemplului de calcul (regim aperiodic). Cu linie punctată porțiunile corespunzătoare existenței cuplului static potențial.

unghiulare, ceea ce corespunde fenomenelor fizice din mașina de acționare.

Integrarea directă prin metode numerice a ecuațiilor (8), folosind subrutine cunoscute (RK_4, RKG, RKM, RKF), pentru valorile date ale mărimilor din exemplele de calcul, a condus la rezultate foarte apropiate.

Bibliografie

[1] *Vogel, J.* ș.a. Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen (ed. 3-a). Berlin, VEB Verlag Technik, 1983.

[2] *Saal., C.* Die linearen mathematischen Modelle elecktrischer Antriebssysteme mit Gleichstrommotor und konstantem Erregerfluss. In: Elektrie, t. **37**, 1983, nr. 1, p. 14—18.

[3] *Saal, C.* Regimurile dinamice de pornire în sistemele de acționare cu motor de curent continuu. EEA — Electrotehnica, t. **30**, 1982, nr. 4, p. 137—146.

CZ 621.317.7 :538.5

OSCILOMOTOR ELECTRODINAMIC
MODELARE ANALITICĂ

Modelarea analitică și analiza unui oscilomotor electrodinamic prin relații intrare-stare-ieșire

SILVIU DARIE, TIBERIU COLOȘI, HORIA BĂLAN*, — CLUJ-NAPOCA

În cadrul preocupărilor generale prezentate în [1...4], această lucrare este orientată spre studiul unui set de oscilomotoare electrodinamice, proiectate, executate, puse în funcțiune și livrate recent unor beneficiari din industrie. Unele detalii constructiv-funcționale, precum și aspecte privind modelarea analitică și analiza prin relații de tip intrare-ieșire ale acestor oscilomotoare, fac obiectul lucrării [9]. În continuarea acestei lucrări, se studiază aceeași categorie de oscilomotoare electrodinamice, prin relații de timp intrare-stare-ieșire.

1. Stabilirea ecuațiilor matriceale de stare

Din sistemul de ecuații diferențiale cu coeficienți constanți, care modelează analitic — într-o formă simplificată — oscilomotorul electrodinamic [9], respectiv :

$$u = Ri + L \cdot \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + B \cdot l \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, \tag{1}$$

$$m \cdot \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + C \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} + k \cdot x = f, \tag{2}$$

$$f = B \cdot l \cdot i, \tag{3}$$

se pot alege variabilele de stare, determinate de ordinul maxim al derivatelor semnalelor în raport cu timpul. Ecuația diferențială (2) fiind de ordinul 2, în raport cu deplasarea $x(t)$, rezultă două variabile de stare $x_1 = x$ și $x_2 = \dot{x}_1 = \dot{x}$, iar ecuația diferențială (1) fiind de ordinul 1, în raport cu curentul $i(t)$, rezultă a treia variabilă de stare $x_3 = i$.

Ca urmare, vectorul de stare sub forma normală (bazată pe variabile de fază), care definește oscilomotorul, posedă trei elemente, respectiv :

$$x_N = \begin{vmatrix} x_{1N} \\ x_{2N} \\ x_{3N} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x \\ \dot{x} \\ i \end{vmatrix}. \tag{4}$$

Derivînd pe (4) în raport cu timpul și ținînd seama de (1), (2) și (3) rezultă :

$$\begin{vmatrix} \dot{x}_{1N} \\ \dot{x}_{2N} \\ \dot{x}_{3N} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} & \frac{Bl}{m} \\ 0 & -\frac{Bl}{L} & -\frac{R}{L} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_{1N} \\ x_{2N} \\ x_{3N} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{vmatrix} \cdot u, \tag{5}$$

$$|f| = |0 \mid 0 \mid BL| \cdot \begin{vmatrix} x_{1N} \\ x_{2N} \\ x_{3N} \end{vmatrix}, \tag{6}$$

ceea ce se mai poate scrie (indicele N evidențiază forma normală) :

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}_N = \mathbf{A}_N \cdot \mathbf{x}_N + \mathbf{B}_N \cdot u & (7) \\ f = \mathbf{C}_N \cdot \mathbf{x}_N & (8) \end{cases}$$

și reprezintă sistemul de ecuații matriceale de stare, care definesc oscilomotorul. Se evidențiază astfel :

— matricea de stare :

$$\mathbf{A}_N\,(3 \times 3) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} & \frac{Bl}{m} \\ 0 & -\frac{Bl}{L} & -\frac{R}{L} \end{vmatrix}, \tag{9}$$

— matricea intrare-stare :

$$\mathbf{B}_N\,(3 \times 1) = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{vmatrix}, \tag{10}$$

— matrice stare-ieșire :

$$\mathbf{C}_N(1 \times 3) = |0 \mid 0 \mid Bl|. \tag{11}$$

* Conf. dr. ing. *Darie, S.*; prof. dr. ing. *Coloși, T.* și ing. *Bălan, H.* — Fac. de electrotehnică, Inst. politehnic, Cluj-Napoca

Din sistemul de ecuații (7) și (8) rezultă schema-bloc matriceală, din figura 1, care modelează oscilomotorul electrodinamic. Dacă se detaliază matricele $\mathbf{A}_N$, $\mathbf{B}_N$, $\mathbf{C}_N$ și vectorul de stare $\mathbf{x}_N$, aceeași schemă-bloc prezintă forma din figura 2, cu observația că cele două acolade simbolizează intrările, respectiv ieșirile pentru matricea $\mathbf{A}_N$.

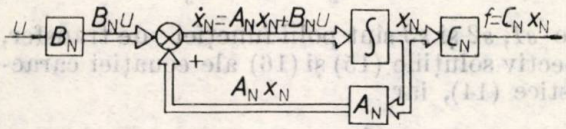


Fig. 1. Modelarea oscilomotorului/vibratorului prin variabile de stare tensiune-forță (forma normală).

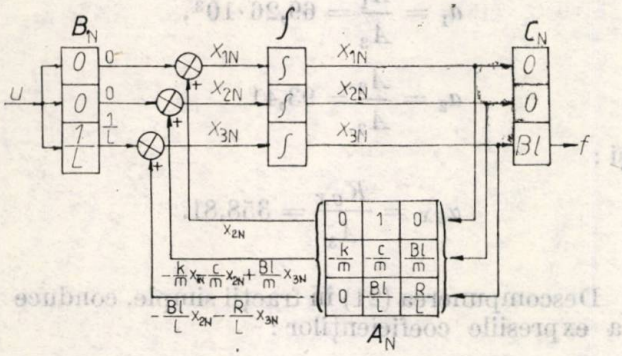


Fig. 2. Modelarea vibratorului prin variabile de stare-tensiune-forță (forma normală detaliată).

Asociind grafuri schemei-bloc din figura 2, se obține o formă intuitivă de reprezentare tensiune-variabile de stare sub formă normală — forță, a oscilomotorului electrodinamic, așa cum se ilustrează în figura 3.

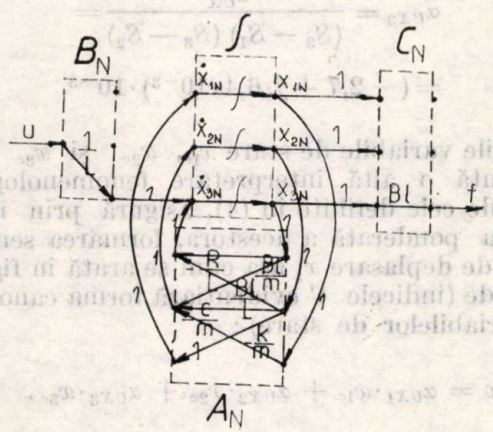


Fig. 3. Modelarea vibratorului prin variabile de stare-tensiune-forță (forma normală — grafuri).

Dependența între figurile 1, 2 și 3 este succesivă și simplă. Tensiunea u de alimentare a bobinei mobile, acționînd direct asupra nodului $\dot{x}_{3N}$, iar apoi x_{3N} rezultă o reacție încrucișată destul de complexă datorită matricei de stare $\mathbf{A}_N$, care condiționează interacțiuni între toate variabilele de stare din componența vectorului $\mathbf{x}_N$. Se obține astfel o urmărire intuitivă a multiplelor succesiuni între cauzele și efectele electromecanice care există în oscilomotorul electrodinamic.

2. Studiul stabilității sistemului

Se știe că studiul stabilității unui sistem definit prin (7) și (8), se bazează pe ecuația caracteristică :

$$\det (S\,\mathbf{1} - \mathbf{A}_N) = 0, \tag{12}$$

care, pentru exemplul considerat, conduce la :

$$\det \begin{vmatrix} S & -1 & 0 \\ \frac{k}{m} & S + \frac{c}{m} & -\frac{Bl}{m} \\ 0 & \frac{Bl}{L} & S + \frac{R}{L} \end{vmatrix} = 0 \tag{13}$$

și din care rezultă :

$$\frac{Lm}{Rk} \cdot S^3 + \frac{Lc + Rm}{Rk} \cdot S^2 + \frac{Lk + Rc + B^2 l^2}{Rk} \cdot S + 1 = 0. \tag{14}$$

Ecuația caracteristică astfel obținută admite soluțiile [9] :

$$S_1 = -31{,}542 = -\alpha \tag{15}$$

și :

$$S_{2;3} = -30{,}933 \pm j \cdot 257{,}595 = -\beta \pm j\gamma, \tag{16}$$

ale căror localizări în planul s se prezintă în figura 4.

Se pot astfel calcula ușor următorii parametri de structură ai oscilomotorului :

— constanta de timp :

$$T = \frac{1}{\alpha} \cong 0{,}0317 \text{ s}; \tag{17}$$

— pulsația naturală :

$$\omega_n = \sqrt{S_2 S_3} = \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} = 259{,}445 \text{ rad/s}; \tag{18}$$

— factorul de amortizare :

$$\zeta = -\frac{S_2 + S_3}{2\omega_n} = -\frac{2\beta}{2\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} = 0{,}12. \tag{19}$$

Toate componetele reale ale soluțiilor (15) și (16) fiind negative, și deci plasate în semiplanul stîng (al planului s), rezultă că sistemul

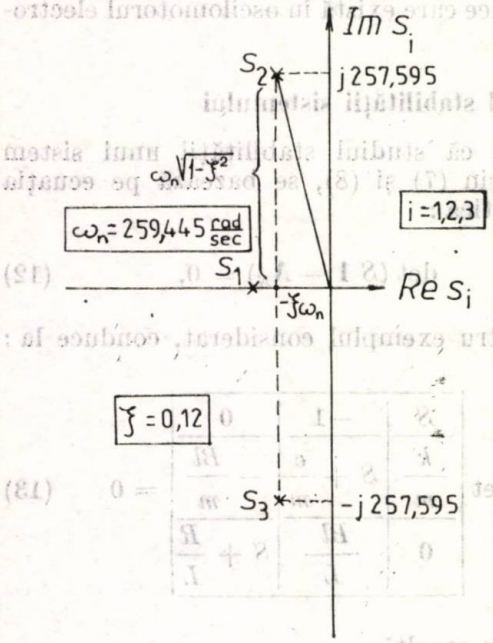


Fig. 4. Reprezentarea polilor în planul complex.

este stabil. Corecțiile care se impun localizării soluțiilor sus—amintite, pentru îmbunătățirea performanțelor oscilomotorului, vor fi tratate în cadrul schemelor de reglare automată a acestuia.

3. Aspecte privind controlabilitatea și observabilitatea oscilomotorului

Pentru simplificarea prezentării, se operează în continuare cu variabile de stare sub formă canonică (și nu sub formă normală, tratate la punctul anterior), iar controlabilitatea și observabilitatea se vor considera în raport cu deplasarea x a armăturii mobile a oscilomotorului. Formal identic se pot studia aceste proprietăți și în raport cu forța dezvoltată f, sau în raport cu curentul i, care parcurge bobina mobilă.

Din sistemul de ecuații (1), (2) și (3) se poate obține (operînd cu transformata Laplace pentru condiții inițiale nule și fără reduceri de termeni) :

$$\alpha_{UX}.u = \frac{\mathrm{d}^3 x}{\mathrm{d}\, t^3} + a_2 \cdot \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} + a_1 \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} + a_0 x, \quad (20)$$

ecuație care definește dependența deplasării x față de tensiunea u, în raport cu timpul. Ca urmare rezultă :

$$H_{UX}(S) = \frac{\mathfrak{L}\, x}{\mathfrak{L}\, u} = \frac{K_{UX}}{A_3 S^3 + A_2 S^2 + A_1 S + 1} =$$

$$= \frac{\alpha_{UX}}{S^3 + a_2 S^2 + a_1 S + a_0} =$$

$$= \frac{\alpha_{UX}}{(S - S_1)(S - S_2)(S - S_3)} = \frac{\alpha_{UX1}}{S - S_1} +$$

$$+ \frac{\alpha_{UX2}}{S - S_2} + \frac{\alpha_{UX3}}{S - S_3}, \quad (21)$$

unde $s1$, $s2$ și $s3$ sînt polii funcției de transfer, respectiv soluțiile (15) și (16) ale ecuației caracteristice (14), iar

$$a_0 = \frac{1}{A_3} = 2{,}12 \cdot 10^6,$$

$$a_1 = \frac{A_1}{A_3} = 69{,}26 \cdot 10^3,$$

$$a_2 = \frac{A_2}{A_3} = 93{,}41$$

și :

$$\alpha_{UX} = \frac{K_{UX}}{A_3} = 358{,}81.$$

Descompunerea (21) în fracții simple, conduce la expresiile coeficienților :

$$\alpha_{UX1} = \frac{\alpha_{UX}}{(S_1 - S_2)(S_1 - S_3)} = 5{,}4 \cdot 10^{-3}; \quad (22)$$

$$\alpha_{UX2} = \frac{\alpha_{UX}}{(S_2 - S_1)(S_2 - S_3)} =$$

$$= (-2{,}7 - j \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-3}, \quad (23)$$

$$\alpha_{UX3} = \frac{\alpha_{UX}}{(S_3 - S_1)(S_3 - S_2)} =$$

$$= (-2{,}7 + j \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-3}. \quad (24)$$

Noile variabile de stare x_{1c}, x_{2c} și x_{3c} care prezintă o altă interpretare fenomenologică, față de cele definite în (4), asigură prin însumarea ponderată a acestora, formarea semnalului de deplasare x, așa cum se arată în figura 5, unde (indicele C evidențiază forma canonică a variabilelor de stare) :

$$x = \alpha_{UX1} \cdot x_{1c} + \alpha_{UX2} \cdot x_{2c} + \alpha_{UX3} \cdot x_{3c}. \quad (25)$$

Această figură s-a obținut din reprezentarea fiecărui termen de forma :

$$\frac{\alpha_{UXj}}{S - S_j} = \frac{\frac{1}{S}}{1 - \frac{1}{S} \cdot S_j} \cdot \alpha_{UXj}, \quad (26)$$

(pentru $j = 1,2,3$), prin schema-bloc exemplificată în figura 6.

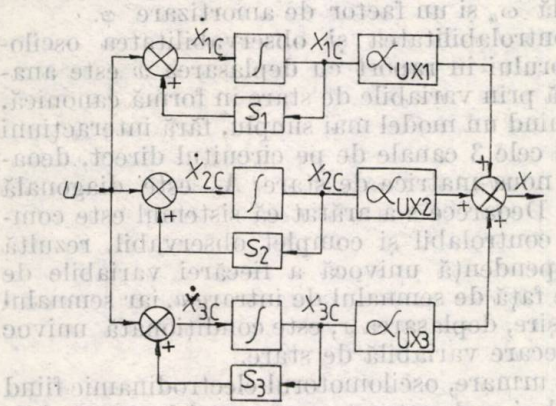


Fig. 5. Modelarea vibratorului prin variabile de stare-tensiune-deplasare (formă canonică).

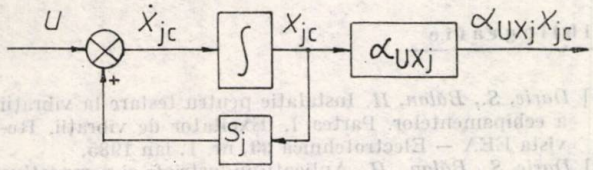


Fig. 6. Detaliu la reprezentarea vibratorului prin variabile de stare (forma canonică).

Se constată astfel că semnalele $\dot{x}_{1c}$, $\dot{x}_{2c}$ și $\dot{x}_{3c}$ sînt formate din cîte două componente, respectiv :

$$\dot{x}_{1c} = S_1 x_{1c} + u, \tag{27}$$

$$\dot{x}_{2c} = S_2 x_{2c} + u, \tag{28}$$

$$\dot{x}_{3c} = S_3 x_{3c} + u, \tag{29}$$

din care, împreună cu (25), rezultă noul sistem de ecuații matriceale de stare, sub forma canonică, pentru modelarea oscilomotorului electrodinamic și anume :

$$\dot{\mathbf{x}}_C = \mathbf{A}_C \mathbf{x}_C + \mathbf{B}_C \cdot u, \tag{30}$$

$$x = \mathbf{C}_C \mathbf{x}_C, \tag{31}$$

unde :

— matricea de stare :

$$\mathbf{A}_C\,(3\times3) = \left|\begin{array}{c|c|c} s_1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & s_2 & 0 \\ \hline 0 & 0 & s_3 \end{array}\right| \tag{32}$$

— matricea intrare-stare :

$$\mathbf{B}_C\,(3 \times 1) = \left|\begin{array}{c} 1 \\ \hline 1 \\ \hline 1 \end{array}\right|; \tag{33}$$

— matricea stare-ieșire :

$$\mathbf{C}_C\,(1 \times 3) = \left|\alpha_{UX1} \mid \alpha_{UX2} \mid \alpha_{UX3}\right|, \tag{34}$$

cu observația că, pentru această formă canonică semnalul de intrare este tot tensiunea u (de alimentare a bobinei mobile), iar semnalul de ieșire este deplasarea x a armăturii mobile (și nu forța f din cazul formei normale de reprezentare). Ca urmare, (30) și (31) permit o modelare tensiune-variabile de stare sub forma canonică — deplasare, a oscilomotorului electrodinamic, așa cum se poate urmări în figura 7.

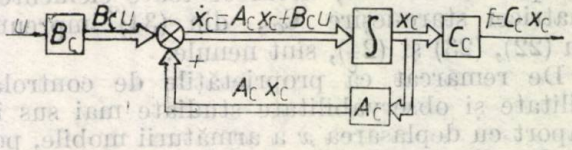


Fig. 7. Modelarea vibratorului prin variabile de stare-tensiune-forță (forma canonică).

Detaliind matricele $\mathbf{A}_C$, $\mathbf{B}_C$, $\mathbf{C}_C$ și vectorul de stare $\mathbf{x}_C$ această schemă-bloc devine, sub forma prezentată în figura 8, cu aceeași observație

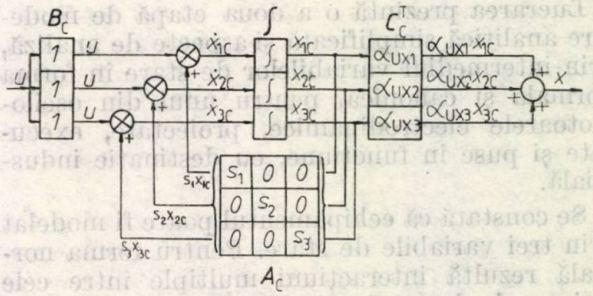


Fig. 8. Detaliu la modelarea vibratorului prin variabile de stare-tensiune-deplasare (forma canonică).

că cele două acolade care încadrează matricea de stare $\mathbf{A}_C$, simbolizează intrările și ieșirea asociate acestei matrice.

Operînd cu grafuri, figura 8 poate fi reprezentată prin figura 9, favorizînd o formă simplă

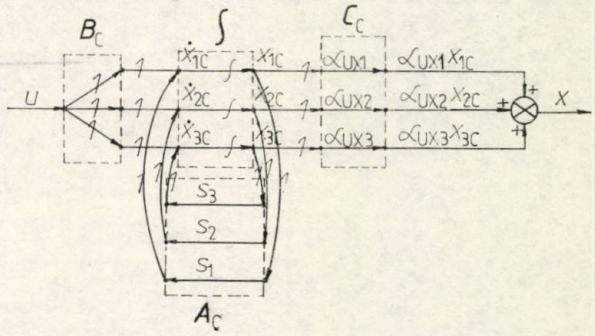


Fig. 9. Modelarea vibratorului prin variabile de stare-tensiune-deplasare (forma canonică — grafuri).

și intuitivă de modelare, tensiune — variabile de stare sub formă normală — deplasare, a oscilomotorului electrodinamic. Această formă canonică elimină interacțiunile dintre canale (și implicit dintre variabilele de stare), simplificînd atît structura modelului, cît și inversarea matricei diagonale de stare $\mathbf{A}_C$. De asemenea, studiul controlabilității și observabilității acestui oscilomotor devine mai simplu în comparație cu formele necanonice de modelare.

Se constată că sistemul (oscilomotorul) este complet controlabil, deoarece toate elementele matricei intrare — stare $\mathbf{B}_C$, din ((33), sînt nenule.

De asemenea, sistemul (oscilomotorul) este complet observabil, deoarece toate elementele matricei stare-ieșire $\mathbf{C}_C$, din (34) împreună cu (22), (23) și (24), sînt nenule.

De remarcat că proprietățile de controlabilitate și observabilitate studiate mai sus în raport cu deplasarea x a armăturii mobile, pot fi dezvoltate — formal identic — și în raport cu curentul i sau forța f, rezultînd că oscilomotorul este complet controlabil și complet observabil și în raport cu aceste două semnale.

4. Concluzii

Lucrarea prezintă o a doua etapă de modelare analitică simplificată și aspecte de analiză, prin intermediul variabilelor de stare în forma normală și canonică, pentru unul din oscilomotoarele electrodinamice, proiectate, executate și puse în funcțiune, cu destinație industrială.

Se constată că echipamentul poate fi modelat prin trei variabile de stare. Pentru forma normală rezultă interacțiuni multiple între cele trei canale de pe circuitul direct, deoarece matricea de stare $\mathbf{A}_N$, posedă patru elemente nenule, situate lateral față de diagonala principală.

Stabilitatea oscilomotorului, studiată tot prin variabile de stare în forma normală, respectiv prin ecuația (12), conduce la ecuația caracteristică (14) de ordinul 3, cu o soluție reală și două complex conjugate, toate avînd componentele reale negative. Se justifică astfel stabilitatea sistemului și se calculează o constantă de timp echivalentă T, o pulsație naturală ω_n și un factor de amortizare φ.

Controlabilitatea și observabilitatea oscilomotorului în raport cu deplasarea x este analizată prin variabile de stare în formă canonică, obținînd un model mai simplu, fără interacțiuni între cele 3 canale de pe circuitul direct, deoarece noua matrice de stare $\mathbf{A}_C$ este diagonală (32). Deoarece s-a arătat că sistemul este complet controlabil și complet observabil, rezultă o dependență univocă a fiecărei variabile de stare față de semnalul de intrare u, iar semnalul de ieșire, deplasarea x, este condiționată univoc de fiecare variabilă de stare.

Ca urmare, oscilomotorul electrodinamic fiind stabil și nedegenerat, cu semnalele măsurabile i și x, se pretează ușor includerii în circuite de reglare automată în raport cu deplasarea și frecvența armăturii mobile.

Bibliografie

[1] *Darie, S., Bălan, H.* Instalație pentru testare la vibrații a echipamentelor. Partea I. Excitator de vibrații. Revista EEA — Electrotehnica **33**, nr. 1, ian 1985.

[2] *Darie, S., Bălan, H.* Aplicații industriale și perspective de utilizare ale instalațiilor de vibrare electromecanice. Simpozion MEI Galați — 1983.

[3] *Darie, S., Coloși, T., Bălan, H., Isoc, D.* Modelarea unui oscilomotor cu mișcare de translație, prin intermediul unui procedeu numeric de liniarizare temporală. În : EEA — Electrotehnica **32** București 1984.

[4] *Darie, S., Coloși, T., Bălan, H., Isoc, D.* Control of linear oscillating motor. International Conference of Electrical Machines. 18—21 September 1984. L. M. Lausanne, Switzerland.

[5] *Coloși, T.*, Näherungsalgebra für Systeme mit linearen und nichtlinearen Elementen. Regelungstechnik Nr. 4/78.

[6] *Coloși, T.* Aproximationsverfahren für Systeme mit linearen und nichtlinearen Elementen. Institut für Allgemeine und Theoretische Elektrotechnik der Universität Erlangen — Nürnberg. iunie 1975.

[7] *Coloși, T.* Algebră de aproximare a sistemelor cu elemente liniare și neliniare. Revista AMC vol. **25**, București, 1977.

[8] *Coloși, T., Ignat, I., Feștilă Lelia, Leția, I.* Procedeu numeric de liniarizare, pentru sisteme automate neliniare continue. Revista AMC vol. **33** ET — București, 1981.

[9] *Darie, S., Coloși, T., Bălan, H., Isoc, D.* Modelarea analitică și analiza unui oscilomotor electrodinamic, prin relații intrare-ieșire. In : EEA — Electrotehnica 33, nr. 3, apr 1985, București.

CZ 621.316.17 :538.221 :621.3.016

INSTALAȚII ELECTRICE
EXTRAGERE MATERIALE
FEROMAGNETICE
ÎNCĂRCĂTURI TEHNOLOGICE

Instalații pentru extragerea materialelor feromagnetice din încărcăturile tehnologice

MEREANU ADRIAN, FERCĂU NICOLAE, PREDESCU VASILE, COSNEANU GHEORGHE* — BUCUREȘTI

În cadrul Institutului de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru electrotehnică — ICPE București cu colaborarea Institutului de cercetări și modernizări energetice — ICEMENERG — București și Centrului de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru utilaj minier — CCSITUM — Satu Mare au fost cercetate, proiectate și omologate instalațiile pentru extragerea materialelor feromagnetice din încărcăturile tehnologice, pentru lățimi ale benzii de 1 200 și 1 600 mm. Aceste instalații, denumite și separatoare electromagnetice de bandă, se compun din patru părți principale: electromagnetul, sistemul mecanic de eliminare a corpurilor feromagnetice extrase, tabloul de comandă și alimentare și detectoarele de metal. Prototipurile instalațiilor au fost realizate de către ICPE, ICEMENERG, Întreprinderea de mașini grele — București, Întreprinderea „Unio" — Satu Mare și Întreprinderea „Electrotehnica" — București.

În principal, instalațiile sînt destinate protejării instalațiilor de prelucrare a cărbunelui din gospodăriile de combustibil ale termocentralelor electrice și se instalează în circuitul de prelucrare a combustibilului.

1. Generalități

Electromagnetul atrage bucățile de material magnetic din cărbunele de pe banda transportoare, care au fost semnalate de detectorul de metale din amonte de electromagnet, iar sistemul mecanic le evacuează longitudinal sau transversal.

Bucățile de metal rămase neextrase sînt identificate de detectorul de metale montat după electromagnet.

Instalația este destinată să funcționeze fără supraveghere permanentă și directă. Ea funcționează în medii cu praf de cărbune, lipsite de vapori corozivi, inflamabili sau explozivi, aburi, gaze sau alte substanțe active, în condiții de climat temperat normal caracterizate prin:

— temperatura mediului ambiant, — 25°C ... ...+ 40°C;

— umiditatea relativă a aerului, maxim 95% la o temperatură de 30°C;

— altitudinea maximă 1 000 m.

Instalația trebuie ferită de acțiunea directă a radiațiilor soarelui.

Caracteristicile principale constructive, funcționale și dimensionale sînt menționate în continuare.

Electromagnetul se montează pe sistemul mecanic care este plasat deasupra benzii cu încărcătură.

Detectoarele de metale se instalează la o distanță de cca 20 m de electromagnet, înainte și după acesta, pe banda transportoare de cărbune. Înaintea fiecărui detector de metale se montează cîte o poartă de gabarit. Rolele din imediata vecinătate a detectoarelor vor fi din material plastic sau vor fi depărtate la 1 200 mm și nu vor avea jocuri în lagăre.

Instalația poate asigura următoarele funcțiuni:

— detectarea corpurilor metalice mai grele de 100 g și extragerea corpurilor feromagnetice cu o greutate de 0,1 ÷ 40 kg de la o distanță de 500 mm din stratul de cărbune de pe banda transportoare și evacuarea lor;

— detectarea corpurilor metalice feromagnetice cu o greutate minimă de 100 g scăpate de electromagnet, cu marcarea locului unde se află metalul și oprirea benzii de cărbune.

Instalația poate funcționa în 3 regimuri distincte de automatizare:

— regim NORMAL de lucru cu două trepte de funcționare, funcționarea pe regim de așteptare cu DA 85% și funcționarea în forțare cu DA 15% la comanda detectorului de metale montat în amonte;

— regim AVARIE I cînd detectorul de metale este defect și electromagnetul este alimentat cu un curent echivalent termic (cu diminuarea performanțelor de extracție);

— regim AVARIE II cînd ventilatoarele de răcire a electromagnetului sînt defecte. În acest caz regimul de funcționare este caracterizat de funcționarea în așteptare cu DA 85%, în care timp electromagnetul nu este alimentat și de funcționarea în forțare cu DA 15%, în care electromagnetul este alimentat cu o tensiune mai mică decît cea nominală (cu diminuarea performanțelor de extracție).

* Dr. ing. *Mereanu, Adrian*, ing. *Fercău Nicolae*, sing. *Predescu Vasile*, ing. *Cosneanu Gheorghe* de la Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică — ICPE — București

Instalaţia este construită să lucreze în următoarele regimuri de automatizare :

I — pornirea şi oprirea instalaţiei de la distanţă cu oprirea benzii transportoare de cărbune în cazul defectării instalaţiei ;

II — pornirea locală (fără interblocaj cu banda transportoare de cărbune) ;

STOP — oprirea instalaţiei.

Instalaţia se alimentează de la reţeaua de 3×380 V ($Un \pm 5\%$). Se acceptă funcţionarea instalaţiei de la o reţea de 3×380 V cu $Un + 10\%$, sau $- 15\%$. Forţa de atracţie a electromagnetului, în cazul alimentării cu $Un - 15\ \%$, scade în mod proporţional.

2. Condiţii tehnice ale electromagnetului şi sistemului mecanic

Forma şi dimensiunile de gabarit se pot vedea în figurile 1 şi 2.

Figura 3 reprezintă o fotografie a instalaţiei de 1 200 mm, iar figura 4 a instalaţiei de 1 600 mm.

Cutiile metalice ale tabloului de comandă şi alimentare, transformatorului, dispozitivului de marcare şi cele două ventilatoare care intră în componenţa electromagnetului sînt executate cu grad de protecţie IP — 54 conform STAS 5325/80.

Componenţa instalaţiei :

a. Electromagnetul este format din : miez magnetic în formă de *E*, bobină de magnetizare, două cutii de borne, capac inferior, placă de dirijare a obiectelor feromagnetice, capace laterale, două ventilatoare axiale.

b. Sistemul mecanic dispus deasupra benzii transportoare este alcătuit din : tambur de antrenare, motor de antrenare, reductor de turaţie, bandă extractoare de cauciuc cu nervuri.

c. Tabloul de comandă şi alimentare tip TAC şi dulapul trafo alimentare conţin : cutia, transformatorul de alimentare, puntea redresoare trifazată şi aparate de conectare, protecţie şi semnalizare.

d. Detectorul de metale se compune din traductor, ansamblu electronic şi dispozitiv de marcare.

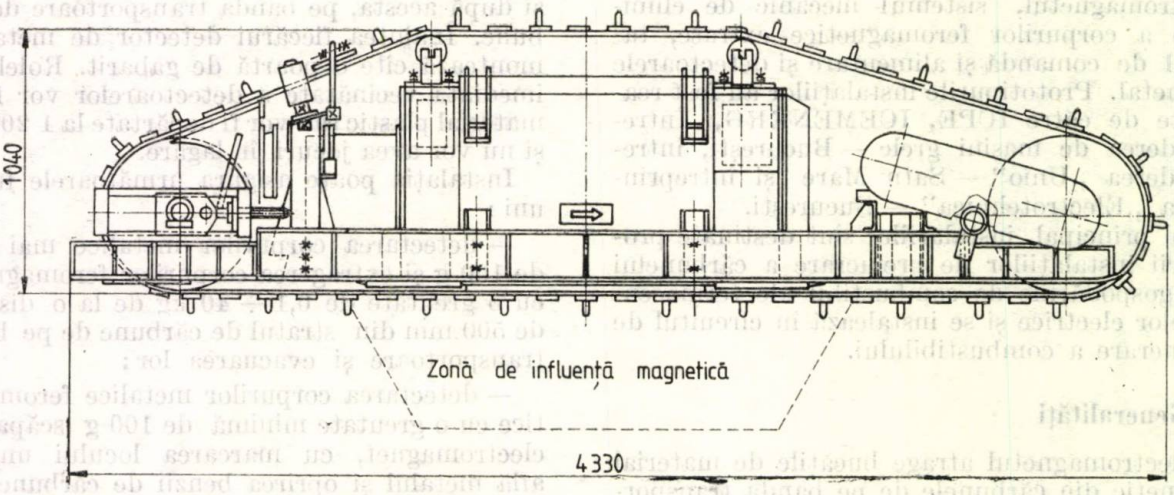


Fig. 1. Vedere din faţă a ansamblului electromagnet şi sistemul mecanic al instalaţiei SEB 1 200.

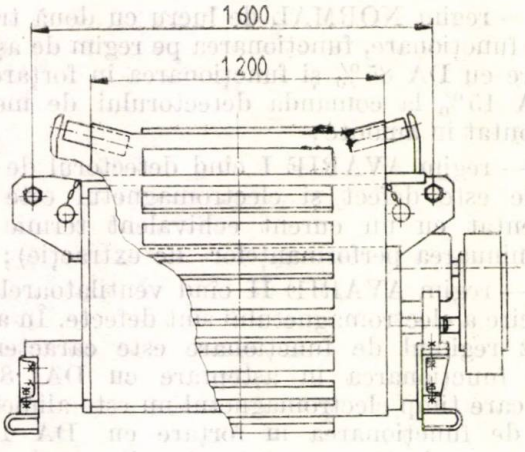


Fig. 2. Vedere laterală cu secţiune prin ansamblul electromagnet şi sistemul mecanic al instalaţiei SEB 1 200.

Părţile componente ale instalaţiei sînt prevăzute cu borne de punere la pămînt.

Elementele componente sînt protejate împotriva coroziunii prin vopsire şi acoperiri electrochimice în conformitate cu normele şi standardele în vigoare pentru condiţii grele de exploatare.

Instalaţia permite următoarele comenzi, protecţii şi semnalizări :

a — Comenzi
- comutarea pe cele trei regimuri de funcţionare ;
- comutarea pe cele trei regimuri de automatizare.

b — Protecţii asigurate :
- protecţia la mersul în două faze al punţii redresoare ;

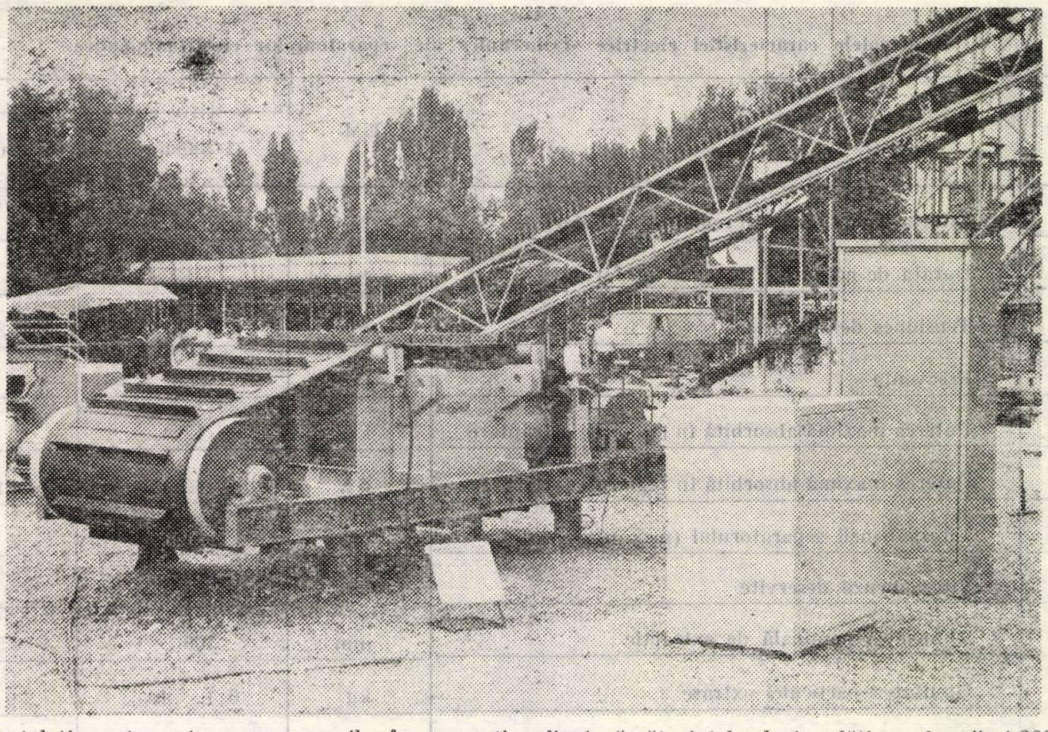


Fig. 3. Instalaţie pentru extragerea corpurilor feromagnetice din încărcături tehnologice, lăţimea benzii 1 200 mm, tip SEB 1 200.

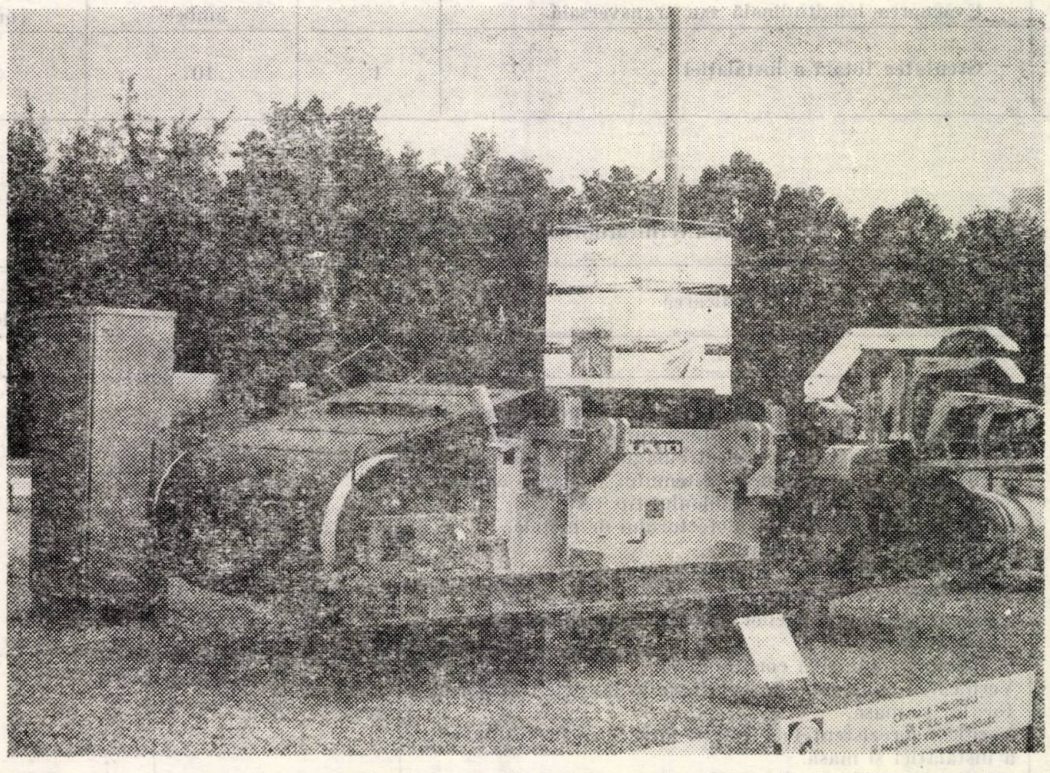


Fig. 4. Instalaţie pentru extragerea corpurilor feromagnetice din încărcături tehnologice, lăţimea benzii 1 600 mm, tip SEB 1 600.

— protecţia la suprasarcină şi mersul în două faze al motoarelor;
— protecţia împotriva blocării benzii;
— protecţia împotriva încălzirii electromagnetului;
— protecţia la scurtcircuit.

e — Semnalizări
— funcţionarea instalaţiei pe regim de aşteptare, respectiv forţare;
— funcţionarea detectorului de metale scăpate;
— instalaţie defectă.

Tabelul 1

Principalele caracteristici electrice şi mecanice ale separatoarelor electromagnetice

Nr. crt.	Caracteristica	UM	Valoarea	
			1 200 mm	1 600 mm
1	Durata de acţionare în regim de aşteptare	%	85	85
2	Durata de acţionare în regim de forţare	%	15	15
3	Tensiunea de alimentare	V	3×380	3×380
4	Frecvenţa	Hz	50	50
5	Puterea maximă absorbită în regim de aşteaptare	kW	12,4	16,25
6	Puterea maximă absorbită în regim de forţare	kW	62	100
7	Viteza benzii separatorului (maxim)	m/s	4	4,5
8	Viteza benzii deservite	m/s	3,15	3,5
9	Adîncimea nominală de extracţie	mm	500	500
10	Greutatea particulei extrase	kg	0,1...40	0,1...40
11	Constanta de timp a electromagnetului	s	2,3	2,5
12	Evacuarea longitudinală sau transversală		ambele	ambele
13	Greutatea totală a instalaţiei	t	10	18,2

Tabelul 2

Lista verificărilor la care se supun instalaţiile

Nr. crt.	Verificarea	Încercarea	
		de tip	de lot
0	1	2	3
1	Verificarea formei, dimensiunilor şi modului de montare.	×	×
2	Verificarea gradului de protecţie a cutiilor de borne.	×	×
3	Verificarea de ansamblu a electromagnetului.	×	×
4	Verificarea de ansamblu a sistemului mecanic overband.	×	×
5	Verificarea de ansamblu a tabloului tip TAC.	×	×
6	Verificarea de ansamblu a detectorului de metale.	×	×
7	Verificarea punerii la pămînt.	×	×
8	Verificarea regimurilor de funcţionare.	×	
9	Verificarea performanţelor de extracţie.	×	
10	Verificarea caracteristicilor electrice şi mecanice.	×	
11	Verificarea de rodaj.	×	×
12	Verificarea împotriva coroziunii.	×	
13	Verificarea rezistenţei de izolaţie între bornele transformatorului şi masă.	×	×
14		×	×
15	Verificarea rezistenţei de izolaţie între bornele de alimentare a instalaţiei şi masă.	×	×
16	Verificarea rezistenţei de izolaţie între bornele motoarelor şi masă.	×	×
17	Verificarea rezistenţei de izolaţie între bornele electromagnetului şi masă.	×	×
18	Verificarea comenzilor. Verificarea protecţiei.	×	×
19	Verificarea semnalizărilor	×	×
20	Verificarea aspectului instalaţiei.	×	×
21	Verificarea indicelui de fiabilitate.	×	

Probabilitatea de bună funcţionare a instalaţiei pe durata termenului de garanţie este de minimum $R = 80\ \%$ cu un nivel de încredere de $P = 60\ \%$. Determinarea mediei timpului de bună funcţionare se face pe seria curentă.

Se precizează că performanţele acestor instalaţii sînt comparabile cu cele ale produselor de vîrf pe plan mondial.

3. Reguli pentru verificarea calităţii

Încercările la care este supusă instalaţia sînt :
— încercări de tip ;
— încercări de lot.

Încercările de tip se execută la asimilarea instalaţiei sau ori de cîte ori intervin modificări care pot afecta performanţele ei. Încercările de tip se execută pe o instalaţie.

Încercările de lot se fac de către întreprinderea executantă în prezenţa beneficiarului pe fiecare bucată în parte.

Încercările de tip şi de lot sînt specificate în tabelul 2.

4. Metode de încercare a separatorului de 1 200 mm

4.1. Verificarea formelor şi dimensiunilor de gabarit ale instalaţiei sînt în conformitate cu desenul anexat lucrării şi corespunde desenelor de execuţie ale părţilor componente. Detectorul de metale se va monta la o distanţă de 19 m de electromagnet înainte şi după acesta, pe banda transportoare de cărbune. Înaintea fiecărui detector se montează cîte o poartă de gabarit.

4.2. Verificarea gradului de protecţie a cutiilor de borne se face conform STAS 5375/80. Acestea trebuie să corespundă gradului IP—54.

4.3. Verificarea de ansamblu a electromagnetului se face vizual: acesta fiind montat pe sistemul mecanic overband nu se pot vedea decît ventilatoarele, cutiile de borne şi placa polară de dirijare.

Verificarea de ansamblu a sistemului mecanic overband, a tabloului de comandă şi alimentare tip TAC, a transformatorului de alimentare şi a detectorului de metale se face vizual şi trebuie să fie conformă desenelor de execuţie.

4.4. Verificarea punerii la pămînt se face vizual. Legarea la pămînt a părţilor componente ale instalaţiei se face la priza de impămintare existentă conform normelor de protecţia muncii.

Elementele bornelor de împămîntare vor avea acoperiri pentru protecţia anticorozivă.

4.5. Pentru verificarea regimurilor de funcţionare se alimentează instalaţia de la reţeaua trifazată. Se introduce un corp de probă în raza de acţiune a detectorului şi se verifică regimul NORMAL de funcţionare. Pentru verificarea celorlalte regimuri se acţionează comutatorul de pe tabloul de comandă pe regimul pe care se face verificarea.

Verificarea se face în condiţii reale de funcţionare cu separatorul montat la 500 mm deasupra benzii transportoare de cărbune de 1 200 mm lăţime şi cu detectoarele de metale instalate de-a lungul benzii transportoare la 19 m de electromagnet. Pe banda transportoare se aşează înaintea detectorului o greutate de 40 kg din OL 37, de formă oarecare şi o piesă nemagnetică de formă sferică cu o greutate de 100 g. Pentru proba de greutate minimă 100 g se va utiliza un etalon de formă paralelipipedică cu secţiune pătrată şi raportul dimensiunilor laturilor de 2 :1. Se efectuează apoi următoarele operaţii :
— se pune sub tensiune tabloul de comandă şi alimentare ;
— se pornesc ventilatoarele şi banda sistemului mecanic şi se alimentează electromagnetul ;
— se pune în funcţiune detectorul de metale ;
— se porneşte banda transportoare de cărbune.

În momentul trecerii prin dreptul detectorului a bucăţii de metal, acesta va da un semnal care va trece electromagnetul din regim de aşteptare în regim de forţare.

În momentul cînd bucata de oţel ajunge sub electromagnet ea va trebui să fie atrasă ferm şi evacuată de banda sistemului mecanic overband. Cînd piesa metalică magnetică sau nemagnetică ajunge în dreptul detectorului montat în aval de electromagnet, se va da un semnal care opreşte banda transportoare.

Verificarea principalelor caracteristici electrice şi mecanice se face în timpul verificării performanţelor instalaţiei.

4.6. La beneficiar, utilajul se va supune unui rodaj de mers în gol de 24 ore cu întreruperi de 20 minute din două în două ore. În timpul rodajului se urmăreşte îndeaproape comportarea întregului utilaj. Banda sistemului mecanic overband trebuie să fie corect centrată şi întinsă. Temperatura lagărelor trebuie să nu depăşească 60°C.

4.7. Verificarea împotriva coroziunii se face pentru vopsire şi acoperiri electrochimice în conformitate cu normele şi standardele în vigoare pentru condiţii grele de exploatare.

4. 8. Verificarea rezistenţelor de izolaţie între bornele transformatorului, de alimentare şi masă se face cu megohmmetrul de 1 000 V, iar rezistenţa trebuie să fie minim de 0,5 MΩ.

Se mai verifică rezistenţa de izolaţie între bornele de alimentare ale instalaţiei şi masă, precum şi rezistenţa de izolaţie între bornele motoarelor şi masă.

Verificarea rezistenţei de izolaţie între bornele electromagnetului şi masă se face desfăcînd bornele de alimentare a electromagnetului pentru a nu distruge puntea redresoare. Proba

se face cu megohmmetrul de 1 000 V, rezistența urmînd să fie de minimum 0,5 MΩ.

4.9. Verificarea comenzilor se face astfel:

a. Verificarea protecției:

— se scoate o siguranță de pe puntea redresoare; trebuie ca releul termic să acționeze și să oprească instalația;

— se scoate o fază de alimentare, iar releul termic trebuie să oprească cele două motoare;

— se urmărește dacă releul de protecție acționează în vederea opririi benzii;

— se face verificarea existenței unui patron fuzibil corespunzător protecției consumatorului.

b. Verificarea semnalizărilor.

Se alimentează instalația și în timp ce se verifică comenzile se verifică și semnalizarea corespunzătoare regimurilor.

4.10. Verificarea aspectului instalației se face vizual.

4.11. Verificarea indicelui de fiabilitate se face pe seria zero pe baza urmăririi în exploatare a unui eșantion de $n = 4$ exemplare. Aceasta se face pe baza urmăririi în exploatare a unui eșantion de minimum 10 exemplare.

5. Concluzii

În cadrul ICPE, cu colaborarea ICEMENERG și CCSITUM Satu Mare, au fost cercetate, proiectate și omologate instalațiile pentru extragerea materialelor feromagnetice din încărcăturile tehnologice pentru lățimi ale benzii de 1 200 și 1 600 mm. Prototipurile au fost realizate de către ICPE, ICEMENERG, IMGB, Unio — Satu Mare și Electrotehnica București.

Performanțele acestor instalații sînt comparabile cu cele ale produselor de vîrf pe plan mondial.

Asimilarea lor a permis implementarea în producție a noi tipuri de instalații de complexitate ridicată și a avut ca efect reducerea substanțială a importului.

Bibliografie

[1] *Mereanu, A. Fercău, N. Predescu, V. Cosneanu, G.* Omologarea instalațiilor pentru extragerea corpurilor feromagnetice din încărcăturile tehnologice pentru lățimi de bandă de 1 200 mm și 1 600 mm. ICPE 1981.

[2] *Hortopan, Gh.* Aparate electrice. Ediția a treia, București, Editura didactică și pedagogică, 1980.

[3] *Sumțov, V. F.* Electromagnitnie jelezootdeliteli, Moscva, Mașinostroenie, 1978, glava III.

[4] *Smolchin, R. D. Naconecinîi, K. M. Saico. O. P.* Modelirovanie i rasciot teplovîh polei E, obraznih electromagnitnîh sistem podvesnîh separatorov.

[5] *Smolchin, R. D. Pancratov, M. E.* Electromagnitnie i magnitnie separatori i jelezootdeliteli.

[6] *Tarapon, A. G.* Modelirovanie nestaționarnîh polei na integratorah EINP, Kiev, Izd-vo Instituta matematichi AN USSR, 1970.

[7] *Borisenco, A. I. Danco, B. G Iacovlev, A. I.* Aerodinamica i teploperedacia v electriceschih mașinah M. Energhiia 1974.

[8] Catalog Humboldt — Suspended and Overhead Electromagnets.

[9] Catalog SKET — Magnetic separators.

[10] Catalog Pintsch Bamag Aushebemagnete Überbandmagnetscheider.

CZ 621.313 :621.3.015.2

MOTOARE ASINCRONE DE MACARA
VARIATOARE DE TENSIUNE
ALGORITM DE CALCUL

Algoritm de calcul pentru optimizarea puterii motoarelor asincrone de macara, alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare

ȘTEFAN BARTZER* — TIMIȘOARA

Introducere

Dimensionarea rațională a puterii mașinilor electrice de acționare, în sensul utilizării maxime a puterii, în concordanță cu cea real. necesară, presupune luarea în considerare a deosebirilor existente între condițiile de exploatare reale și cele nominale [3]. Această cerință generală se aplică și în condițiile specifice în care sînt exploatate motoarele asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare [6]. Influența acestor condiții specifice asupra solicitării termice și sarcinii admisibile a motorului este pronunțată [2, 4].

În cazul acționărilor cu motoare asincrone, la care modificarea turației se face prin metoda variației tensiunii de alimentare, alegerea motorului poate fi abordată ca o problemă de optimizare după criteriul valorii maxime a gradului de utilizare a puterii motorului [2]. Soluția concretă a acestei probleme depinde de tipul caracteristicii mecanice a mașinii de lucru acționate și implică dimensionarea corespunzătoare a rezistenței unui reostat adițional permanent de adaptare necesar în circuitul rotorului (indusului), în funcție de domeniul de modificare a turației [4].

* Dr. ing. *Bartzer Șt.* Institutul politehnic „Traian Vuia" din Timișoara, Facultatea de electrotehnică, Catedra de electrotehnică și mașini electrice.

În lucrarea de faţă, bazat pe o sinteză a rezultatelor cercetărilor efectuate, se evidenţiază problemele care se pun în practica proiectării şi exploatării acţionărilor cu motoare asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare şi se prezintă algoritmul de calcul pentru rezolvarea optimizată a acestor probleme. Se tratează cazul acţionării unor maşini de lucru cu caracteristica mecanică independentă de turaţie, cum este cazul tipic al mecanismelor de ridicare ale macaralelor şi podurilor rulante.

1. Gradul de utilizare a puterii motorului

La alimentarea motoarelor asincrone prin variatoare de tensiune cu tiristoare, cu o tensiune nesinusoidală şi micşorată ca valoare faţă de cea nominală, se crează condiţii de încălzire şi de răcire deosebite de cele nominale, de care trebuie să se ţină seamă la alegerea şi verificarea motorului pentru o acţionare dată. Prin modificarea parametrilor de alimentare se modifică atît valoarea şi repartiţia spaţială a pierderilor, cît şi caracteristicile mecanice ale motorului, consecinţa fiind diminuarea capacităţii de încărcare a acestuia.

Studiul fenomenelor reale care determină solicitarea termică şi sarcina admisibilă a motoarelor asincrone în condiţiile date [2], [4], [6], [7], [8] a permis crearea premiselor necesare elaborării unor metode de calcul fundamentate ştiinţific pentru optimizarea acţionării în funcţie de tipul maşinii de lucru acţionate şi de domeniul de modificare a turaţiei. Din acest studiu se reţin următoarele concluzii.

— În condiţiile alimentării motoarelor asincrone cu tensiune redusă în stator, înfăşurarea critică din punctul de vedere al încălzirii este în mod normal înfăşurarea rotorică. Dar, în cazul motoarelor cu rezervă de încălzire mare în rotor în condiţiile nominale, este posibil ca înfăşurarea statorică să-şi păstreze caracterul de înfăşurare critică din punctul de vedere termic şi la alimentarea motorului cu tensiune redusă.

— La modificarea turaţiei motoarelor asincrone prin micşorarea tensiunii de alimentare, puterea acestora este utilizată numai parţial, cu atît mai puţin cu cît domeniul de modificare a turaţiei este mai mare şi aceasta nu numai datorită micşorării turaţiei, ci şi datorită micşorării considerabile a cuplului admisibil, conform relaţiei **:

$$M_{ad} = f_\vartheta \frac{s_{aN}}{s} M_N = \varphi\,[s, s_{aN}(R_a)] < M_N, \tag{1}$$

dedusă din condiţia unor pierderi în înfăşurarea rotorică egale cu cele nominale, corectate în funcţie de influenţa turaţiei şi a armonicilor superioare, în întregul domeniu de modificare a turaţiei. Expresia (1) a cuplului admisibil este valabilă pentru alunecări $s \geqslant s_{aN}$.

— Influenţa turaţiei micşorate şi a conţinutului de armonici superioare asupra cuplului admisibil poate fi evidenţiată în calcule prin intermediul unor factori de corecţie determinaţi experimental [8], cum sînt f_s, f_ν şi :

$$f_\vartheta = f_s f_\nu = \varphi_1(x). \tag{2}$$

— Gradul de utilizare a puterii este mai ridicat la motoarele cu rezistenţă mare în rotor, motiv pentru care se recomandă ca motoarele cu rotorul în colivie să fie de tipul cu rezistenţă mărită în rotor, iar cele cu inele de contact să fie exploatate cu un reostat adiţional permanent conectat în circuitul rotorului. Pentru a asigura utilizarea optimă a puterii este necesar ca rezistenţa acestui reostat să fie adaptată la domeniul în care se face modificarea turaţiei prin micşorarea tensiunii de alimentare.

— Optimizarea alegerii motorului şi a reostatului rotoric adiţional se poate face după criteriul valorii maxime a factorului de utilizare a puterii motorului, definit sub forma :

$$F_u = \frac{P_s}{P_{iN}} = \frac{M_s n}{M_N n_1} = (1 - s)\frac{M_S}{M_N} = \varphi\,[M_s(s), s], \tag{3}$$

sau :

$$F_u = (1 - s)\frac{s}{s_{aN}} = u^2(1 - s)\frac{s}{s_N}\frac{u^2}{r} = \varphi(u, r). \tag{4}$$

— Cele două aspecte ale optimizării : stabilirea puterii nominale a motorului şi calculul rezistenţei reostatului rotoric adiţional, astfel încît să se asigure utilizarea maximă a puterii motorului, nu pot fi separate, ci trebuie soluţionate împreună prin aplicarea unui algoritm de calcul specific.

— Într-un domeniu dat de modificare a turaţiei, gradul de utilizare a puterii motorului depinde de tipul caracteristicii mecanice $M_s = \varphi(n$ sau $s)$ a maşinii de lucru acţionate. Ca urmare, se impune concretizarea expresiei (3) sau (4) pentru fiecare tip de maşină de lucru în parte.

— În cazul maşinilor de lucru cu caracteristica mecanică independentă de turaţie, adică $M_s \neq \varphi(n$ sau $s)$, folosirea variatoarelor de tensiune cu tiristoare în circuitul statoric al motoarelor asincrone cu inele, în vederea modificării turaţiei acestora prin metoda variaţiei tensiunii de alimentare, este justificată din punctul de vedere al gradului de utilizare a puterii motorului, numai dacă turaţia minimă prevă-

** Notaţiile şi convenţiile de simbolizare a mărimilor folosite în formulele de calcul sînt prezentate în anexă.

zută este de cel mult 2/3 din turația sincronă n_1. În caz contrar este mai avantajos să se reducă turația numai prin intermediul unui reostat rotoric adițional, motorul funcționînd la tensiunea nominală. De asemenea, turația staționară minimă prevăzută nu trebuie să fie mai mică decît cea la care cuplul admisibil se micșorează la valoarea cuplului static cerut de la motor, adică la care $M_{ad} = M''_{ad} = M_s$.

2. Criteriul de optimizare

Concluziile prezentate la punctul precedent privind comportarea motoarelor asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare, au impus un studiu mai amănunțit al expresiei (4), în funcție de tipul mașinii de lucru și de domeniul de variație (modificare) a turației, pentru a stabili parametrii acționării astfel încît să rezulte pentru factorul F_u valoarea maximă [2,4].

Se constată că pentru o anumită gamă x, impusă, de modificare a turației, factorul F_u obține valoarea maximă $F^*_{u\,max}$, la o anumită valoare R^*_a optimizată (*) a rezistenței reostatului rotoric adițional „permanent" [1]. Rezultă că optimizarea soluțiilor la problemele de alegere și de verificare a puterii motoarelor asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare se poate face prin adaptarea corespunzătoare a rezistenței reostatului rotoric la condițiile de exploatare date.

O sinteză a formulelor cu implicații în algoritmul de calcul pentru dimensionarea optimizată a puterii motorului și a rezistenței reostatului rotoric adițional, în cazul acționării unor mașini de lucru cu caracteristica mecanică independentă de turație, este prezentată în tabelul 1. Ea corespunde situației reprezentate în figura 1.

În cazul considerat, la o sarcină staționară $M_s\,(M_e)$ dată, gamele posibile de modificare a turației se află între limitele:

$$1 - \frac{f''_g}{3}\left(\frac{M_N}{M_s}\right)^2 \leq x = \frac{n_{min}}{n_1} \leq \frac{2}{3} \qquad (5)$$

și cuplul nominal al motorului trebuie să satisfacă condiția:

$$M_N \geq M_s \sqrt{3(1-x)/f''_g} = \varphi\,(M_s, x), \qquad (6)$$

pentru ca la turația staționară minimă, $n_{min} = x\,n_1$, solicitarea termică a înfășurării rotorice să nu depășească valoarea admisibilă în funcție de clasa de izolație.

[1]) Optimizarea se consideră pentru condițiile cele mai avantajoase din punctul de vedere al utilizării puterii motorului, adică pentru $u^\circ = 1$ [4].

3. Algoritmul de calcul

În practica proectării și exploatării acționărilor electrice cu motoare asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare se cer rezolvate, în general, următoarele categorii de probleme.

A) Alegerea motorului corespunzător condițiilor de exploatare reale date, prin calculul cuplului nominal necesar.

Caracteristica M(s)	1	2	3	4	5	6	7
r	=1	>1	= r*			>r*	=U°r'*<r*
u	=1	=U*=1	=U*<1	=U*=U*min=U''*		=1	
u°		= 1					<1

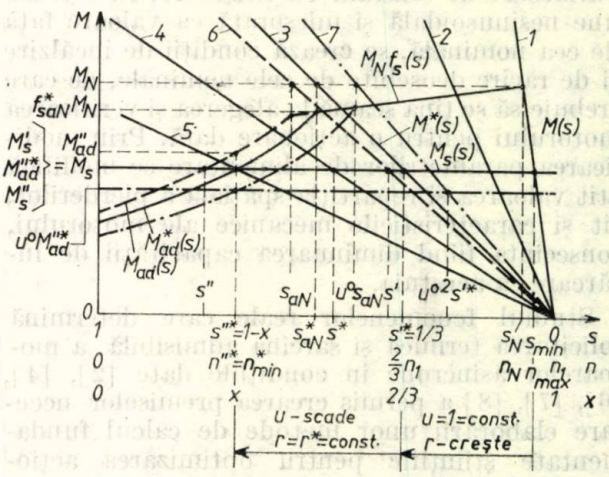


Fig. 1. Explicativă la simbolizarea mărimilor folosite în formulele de calcul.

B) Dimensionarea rezistenței reostatului adițional permanent necesar în circuitul indusului, pentru a asigura utilizarea maximă a puterii unui motor dat, la modificarea turației acestuia într-un domeniu dat.

C) Verificarea la încălzire a puterii unui motor dat, exploatat în condiții reale date, diferite de cele nominale.

D) Calculul sarcinii admisibile a unui motor dat, alimentat cu tensiune redusă în vederea funcționării staționare la o turație micșorată dată.

E) Calculul valorilor minime admise ale turației și tensiunii de alimentare, la modificarea turației unui motor dat, exploatat la o sarcină staționară dată.

Fiecare din aceste probleme poate fi rezolvată prin aplicarea unui algoritm de calcul specific, conform tabelului 2, bazat pe formulele sintetizate în tabelul 1, optimizate din punctul de vedere al gradului de utilizare a puterii motorului pentru cazul $M_s \neq \varphi(n$ sau $s)$. Motorul asincron de acționare se consideră de tipul cu inele de contact, la care se poate intercala o rezistență adițională R_a în circuitul rotorului, în vederea adaptării rezistenței

Tabelul 1

Sinteza formulelor cu implicaţii în algoritmul de dimensionare optimizată (*) a puterii motorului şi a rezistenţei reostatului rotoric adiţional, pentru :

$$u^\circ = 1,\ R_a = R_a^*,\ M_s = M_{ad}''^*\ \text{şi}\ 1 - \frac{f_g''}{3}(M_N/M_s)^2 \leq \times \leq \frac{2}{3}$$

Simbol general	Expresia (valoarea) mărimii considerate	Condiţii	
		s	w
f_g	$f_g'' = f_s'' f_v'' = \varphi_1(x)$	Experimental	
s_{aN}	$s_{aN}^* = r^* s_N = \sqrt{(1-x)/3f_g''} = \varphi_2(x)$	Optimizarea rezistenţei reostatului	
R_a	$R_a^* = (s_{aN}^*/s_N - 1) R_2 = (r^* - 1) R_2$	$s'^* \leq s \leq s''^*$	$1 \geq u \geq u''^*$
s	$s^* = 1/3\ u^2 = \varphi_1(u)$	$s'^* \leq s \leq s''^*$	$1 \geq u \geq u''^*$
	$s'^* = 1/3 = \text{const.}$	s'^*	1
	$s''^* = 1 - x$	s''^*	u''^*
u	$u^* = 1/\sqrt{3\,s} = \varphi_1(s)$	$s'^* \leq s \leq s''^*$	$1 \geq u \geq u''^*$
	$u''^* = u_{\min}^* = 1/\sqrt{3(1-x)} = \varphi_3(7)$	s''^*	u''^*
F_u	$F_u^* = \left(1 - \frac{1}{3u^2}\right)\sqrt{f_g''/3(1-x)} = \varphi_1(u, x)$ $F_u^* = (1-s)\sqrt{f_g''/3(1-x)} = \varphi_1(s, x)$	$s'^* \leq s \leq s''^*$	$1 \geq u \geq u''^*$
	$F_{u\max}^* = \frac{2}{3}\sqrt{f_g''/3(1-x)} = \varphi_4(x)$	s'^*	1
	$F_u''^* = x\sqrt{f_g''/3(1-x)} = \varphi_5(x)$	s''^*	u''^*
$m_{ad} = \frac{M_{ad}}{M_N}$	$m_{ad}^* = 1 - \frac{(1 - f_{saN})(s - s_N)}{\sqrt{(1-x)/3f_g''} - s_N} = \varphi_2(s, x)$ unde $f_{saN} = f_g'(x = 1 - s_{aN}^*)$	$s_N \leq s \leq s_{aN}^*$	1
	$m_{ad}^* = \frac{f_g}{s}\sqrt{\frac{1-x}{3f_g''}} = \frac{f_g}{s}s_{aN}^* = \varphi_3(s, x)$ unde $f_g = f_g''(x = 1 - s)$	$s \leq s_{aN}^*$	$1 \geq u \geq u''^*$
	$m_{ad}''^* = \sqrt{f_g''/3(1-x)} = \varphi_6(x) = M_s/M_N$	s''^*	u''^*
M_N	$M_N \geq M_s/m_{ad}''^* = M_s\sqrt{3(1-x)/f_g''} = \varphi(M_s, x)$	s''^*	u''^*
		Optimizarea puterii motorului	

totale a acestui circuit la domeniul de modificare a turaţiei prin variaţia tensiunii de alimentare. Algoritmul este aplicabil şi în cazul motoarelor cu rotorul în scurtcircuit, însă fără posibilitatea optimizării gradului de utilizare a puterii motorului (deoarece $R_a = 0$).

Formulele de calcul aplicate evidenţiază influenţa condiţiilor de alimentare specifice şi a turaţiei micşorate asupra solicitării termice şi sarcinii admisibile a motorului. Ele sînt valabile în ipoteza unor sarcini reale staţionare aplicate :

— cu o durată nelimitată, în cazul motoarelor cu serviciul nominal tip $S1$;

— cu o durată egală cu cea nominală, în cazul motoarelor cu serviciul nominal tip $S2$;

— cu o durată relativă, raportată la durata ciclului de funcţionare, egală cu cea nominală, în cazul motoarelor cu serviciul nominal tip $S3$, $S4$ sau $S5$.

Deosebirile existente între celelalte condiţii de exploatare reale şi cele nominale, privind în principal diagrama de sarcină, durata relativă de funcţionare şi temperatura mediului ambiant, pot fi luate în consideraţie prin formulele unei metode generale de calcul [3], concretizate în cadrul unor programe de calculator

Tabelul 2

Algoritmul de calcul pentru rezolvarea optimizată a unor probleme din practica proiectării şi exploatării acţionărilor electrice cu motoare asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare

Categoria de probleme	Datele iniţiale cunoscute	Datele căutate (calculate)	Formulele de calcul (se aplică în ordinea indicată)
A	t_f $n(t)$ $M(t)$ TM n_1; $n_N\sim$ $f_g''(TM, x)$ sau : $\begin{cases} f_s''(TM, x) \\ f_v''(TM, x) \end{cases}$	M_N P_N Alegerea motorului	$n''^* = n_{med}$ — cf. rel. (7) $x = n_{med}/n_1 < 2/3$ $M_s = M_e$ — cf. rel. (8) $f_g'' = \varphi_1(TM, x)$ sau $\begin{cases} f_s'' = \varphi_2(TM, x) \\ f_v'' = \varphi_3(TM, x) \\ f_g'' = f_s'' f_v'' \end{cases}$ $M_N \geq M_e \sqrt{3(1-x)/f_g''}$ $P_N = M_N n_N\sim/9{,}55$
B	n TM n_1 s_N R_2 sau $\begin{cases} U_{20} \\ I_{2N} \end{cases}$ $f_g''(TM, x)$ sau : $\begin{cases} f_s''(TM, x) \\ f_v''(TM, x) \end{cases}$	R_a^*	Se consideră $n''^* = n_{min}$ $x = n_{min}/n_1 < 2/3$ $f_g'' = \varphi_1(TM, x)$ sau $\begin{cases} f_s'' = \varphi_2(TM, x) \\ f_v'' = \varphi_3(TM, x) \\ f_g'' = f_s'' f_v'' \end{cases}$ $s_{aN}^* = \sqrt{(1-x)/3f_g''}$ $R_a^* = (s_{aN}^*/s_N - 1)\, R_2 = (s_{aN}^* - s_N)\, U_{20}/\sqrt{3}\, I_{2N}$
C	t_f $n(t)$ $I(t)$ sau $M(t)$ TM n_1 $f_v''(TM, x)$ Alte date ale motorului şi serviciului de exploatare, cf : ALMØT [6] sau SIGMA [1]	σ_e Aplicarea condiţiei de verificare	Se consideră $R_a = R_a^*$ $n''^* = n_{med}$ — cf.rel.(7) $x = n_{med}/n_1 < 2/3$ $f_v'' = \varphi_3(TM, x)$ f_e — cf. programului ALMØT [6] sau SIGMA [1] f_{red} — cf. programului ALMØT $I_s = I_e = \sqrt{\frac{1}{t_f}\int_0^{t_f} I^2\, dt}$ sau : $M_s = M_e$ — cf. rel. (8) $\sigma_e = I_e/I_N = M_e/M_N$ Condiţia de verificare : $\sigma_e \leq f_e\, f_{red} \sqrt{f_v''/3(1-x)}$
D	TM n_1 M_N $f_g''(TM, x)$ sau : $\begin{cases} f_s''(TM, x) \\ f_v''(TM, x) \end{cases}$ $n < \frac{2}{3} n_1$	u M_{ad}	Se consideră $R_a = R_a^*$ şi $n = n''^*$ $x = n/n_1 < 2/3$ $u = u''^* = 1/\sqrt{3(1-x)}$ $f_g'' = \varphi_1(TM, x)$ sau $\begin{cases} f_s'' = \varphi_2(TM, x) \\ f_v'' = \varphi_3(TM, x) \\ f_g'' = f_s'' f_v'' \end{cases}$ $M_{ad} = M_{ad}''^* = M_N \sqrt{f_g''/3(1-x)} = M_N\, u''^* \sqrt{f_g''}$

Tabelul 2 (continuare)

E	TM n_1 M_N $f''_g(TM, x)$ sau : $\begin{cases} f''_s(TM, x) \\ f''_v(TM, x) \end{cases}$ $M_s = M_e$	n_{min} u_{min}	Se consideră $R_a = R_a^*$ și $M_e = M''^*_{ad}$ Se aproximează : $x_\sim$ $x = x_\sim$ $f''_g = \varphi_1(TM, x)$ sau $\begin{cases} f''_s = \varphi_2(TM, x) \\ f''_v = \varphi_3(TM, x) \\ f''_g = f''_s f''_v \end{cases}$ $x_\sim = 1 - \frac{f''_g}{3}\left(\frac{M_N}{M_e}\right)^2$ DA $\lvert x - x_\sim \rvert < 0{,}001$ — NU DA $x = x_\sim$ $n_{min} = x n_1$ $u_{min} = u''^* = 1/\sqrt{3(1-x)}$

SIGMA [1] sau ALMØT [6], sau prin formulele metodelor clasice [5].

Pentru rezolvarea concretă a problemelor puse trebuie să se cunoască, de-a lungul unui ciclu de funcţionare reprezentativ, următoarele două diagrame de funcţionare impuse la arborele motorului de către mecanismul executor al maşinii de lucru a cărei viteză urmează a fi modificată şi/sau reglată :

a — diagrama de mers $n(t)$, din care se obţin informaţii privind valorile extreme ale turaţiei şi se calculează turaţia medie :

$$n_{med} = \frac{1}{t_f}\int_0^{t_f} n\,dt; \qquad (7)$$

b — diagrama de sarcină $M(t)$, din care se calculează cuplul mediu echivalent :

$$M_e = \sqrt{\frac{1}{t_f}\int_0^{t_f} M^2\,dt}. \qquad (8)$$

Turaţia medie m_{med} se asociază cuplului mediu echivalent M_e, calculat pentru acelaşi interval de funcţionare t_f. Astfel se pot considera valorile M_e şi n_{med} ca fiind coordonatele unui punct de funcţionare pe caracteristica mecanică a mecanismului executor.

Metoda aplicată pentru rezolvarea problemelor conform tabelului 2 se bazează şi pe realizarea condiţiilor :

$$M''^*_{ad} = M_e = M_c; \qquad (9)$$

$$n''^* = n_{med} = x\,n_1. \qquad (10)$$

Concluzii

Modificarea turaţiei motoarelor asincrone prin variatoare de tensiune cu tiristoare trebuie să se facă cu respectarea anumitor restricţii, pentru a asigura utilizarea optimă a puterii motorului. Astfel, în cazul acţionării unor maşini de lucru cu caracteristica mecanică independentă de turaţie, se recomandă ca modificarea turaţiei într-o gamă x dată să se realizeze astfel :

— în intervalul $s \le s'^* = 1/3$: la tensiunea nominală U_{1N}, prin variaţia corespunzătoare a rezistenţei reostatului rotoric adiţional, între limitele : $0 \le R_a \le R_a^*$;

— în intervalul $s'^* = 1/3 \le s \le s''^* = 1 - x$: la rezistenţa optimizată R_a^*, menţinută constantă, a reostatului rotoric adiţional, prin variaţia corespunzătoare a tensiunii de alimen-

tare, între limitele: $U_{1N} \geq U_1 \geq U_1''^* = U^*_{1min} = U_{1N}/\sqrt{3(1-x)}$.

Este necesar și posibil ca dimensionarea la încălzire a puterii motoarelor asincrone utilizate în astfel de condiții să se facă în concordanță cu puterea real necesară, asigurînd utilizarea maximă a puterii motorului prin aplicarea unui algoritm de calcul specific, de optimizare, prezentat în lucrare, care evidențiază condițiile de încălzire și de răcire deosebite de cele nominale, create de valoarea micșorată și de forma nesinusoidală a tensiunii de alimentare.

Se atestă totodată necesitatea cunoașterii, pentru fiecare tip constructiv de motor, a legii de variație a unor factori de corecție (reducere) a sarcinii admisibile în funcție de gama de modificare a turației. Din acest punct de vedere cataloagele fabricilor constructoare de motoare asincrone sînt încă deficitare. Pentru a obține funcțiile f_g'', f_s'', $f_\nu'' = \varphi(TM, x)$ trebuie să se recurgă la determinări experimentale pe stand, efectuînd măsurători asupra sistemului: variator (sursă) — motor. În acest scop a fost elaborată [8] o tehnologie experimentală specială, care ține seamă de toate considerațiile prezentate în lucrare.

ANEXA

Precizări privind simbolizarea mărimilor folosite în formulele de calcul

Cu referire și la figura 1, notațiile și convențiile de simbolizare a mărimilor folosite în formulele de calcul sînt după cum urmează (în ordinea alfabetică):

a. *Semnificația exponenților*:

Exp. prim (') —

— valorile mărimilor afectate de tensiunea de alimentare U_1, respectiv u, în cazul funcționării *staționare* a motorului cu o rezistență rotorică adițională R_a oarecare, la tensiunea nominală $U_{1N}(u = 1)$;

Exp. secund (''):

— idem, dar la o tensiune de alimentare, notată cu U_1'', respectiv u'', egală cu cea la care cuplul dezvoltat de motor este egal cu cuplul admisibil ($M'' = M_s'' = M_{ad}''$);

Exp. asterisc (*):

— valorile mărimilor afectate de rezistența circuitului rotoric (r), în cazul funcționării staționare a motorului cu un reostat rotoric adițional avînd rezistența, notată cu $R_a^*(r^*)$, optimizată din punctul de vedere al utilizării puterii motorului.

b. Semnificația indicilor:

Ind. *1* — mărimea referitoare la înfășurarea statorică sau la cîmpul magnetic învîrtitor;

Ind. *2* — mărime referitoare la înfășurarea rotorică;

Ind. ~ — aproximativ (valoare aproximată, estimată);

Ind. *ad* — admisibil din punctul de vedere al încălzirii;

Ind. *e* — valoarea medie echivalentă (de echivalare);

Ind. max — valoare maximă;

Ind. med — valoare medie;

Ind. min — valoare minimă;

Ind. *N* — valoare nominală;

Ind. *s* — sarcină staționară sau mărime dependentă de alunecare.

c. Semnificația notațiilor:

f_e — factorul de echivalare, definit și folosit în programul ALMØT [6];

$f_g; f_g''$ — factorul global de corecție (reducere) a cuplului admisibil în funcție de condițiiile specifice create la modificarea turației motoarelor asincrone prin variatoare de tensiune cu tiristoare (vezi semnificația exponentului");

$f_\nu; f_\nu''$ — factorul de corecție (reducere) a cuplului admisibil în funcție de conținutul de armonici, definit ca raportul între valorile cuplului admisibil la alimentarea motorului cu o tensiune nesinusoidală și respectiv sinusoidală, la aceeași turație (v. semnificația exponentului");

f_{red} — factorul de reducere în funcție de neuniformitatea diagramei de sarcină, definit și folosit în programul ALMØT [6];

$f_s; f_s''$ — factorul de corecție (reducere) a cuplului admisibil în funcție de condițiile de răcire reale, dependente de alunecare (turație), definit ca raportul între valorile cuplului admisibil în condițiile de răcire reale și respectiv nominale, la aceeași tensiune (v. semnificația exponentului");

f_{saN} — valoarea factorului f_s corespunzătoare la alunecarea s_{aN};

$F_u; F_u^*; F_u''^*$ $F^*_{u\,max}$ — factorul de utilizare a puterii motorului (v. semnificația exponenților * și '' și a indicelui max);

$I; I_e; I_N; I_{2N}$ — curentul de sarcină (statoric sau rotoric) al motorului (v. semnificația indicilor *e*, *N* și *2*);

$M; M_{ad}; M_{ad}''; M_{ad}''^*; M_e; M_N; M_s$ — cuplul la arborele motorului (v. semnificația exponenților '' și * și a indicilor *ad*, *e*, *N* și *s*);

$m = M/M_N$; $m_{ad} = M_{ad}/M_N$; $m_{ad}'' = M_{ad}''/M_N$; $m_{ad}''^* = M_{ad}''^*/M_N$ — valoarea relativă a cuplului la arborele motorului;

n; n''; n_1; n_{med}; n_{min}; n_N; $n_{N\sim}$ — turația arborelui motorului (v. semnificația exponentului $''$ și a indicilor 1, med, min, N și $\sim$);

P; P_N; P_s — puterea la arborele motorului (v. semnificația indicilor N și s);

P_{iN} — puterea interioară, transmisă prin întrefier din stator în rotor, la funcționarea motorului în regim nominal;

R_2 — rezistența unei faze a înfășurării rotorice;

R_a; R_a^* — rezistența reostatului rotoric adițional permanent (v. semnificația exponentului *);

$r = (R_2 + R_a)/R_2 = s_{aN}/s_N = \varphi(R_a)$; $r^* = (R_2 + R_a^*)/R_2 = s_{aN}^*/s_N$ — valoarea relativă a rezistenței totale a unei faze rotorice;

s; s^*; s'^*; s''^*; s_N — alunecarea motorului (vezi semnificația exponenților *, $'$ și $''$ și a indicelui N);

s_{aN}; s_{aN}^* — alunecarea la cuplul nominal, motorul funcționînd la tensiunea nominală, ca o rezistență rotorică adițională $R_a > 0$ $(r > 1)$ (vezi semnificația exponentului *);

$\sigma_e = I_e/I_N = M_e/M_N$ — sarcina relativă medie echivalentă;

t — timpul;

t_f — durata perioadei de funcționare considerate;

TM — tipul motorului;

U_1; U_1^*; $U_1''^*$; U_{1min}^*; U_{1N} — valoarea efectivă a tensiunii de alimentare (v. semnificația exponenților * și $''$ și a indicilor „1", „min și N);

$u = U_1/U_{1N}$; $u^* = U_1^*/U_{1N}$; $u''^* = U_1''^*/U_{1N}$; $u_{min}^* = U_{1min}^*/U_{1N}$ — valoarea relativă a tensiunii de alimentare;

u° — valoarea tensiunii relative u pentru care se face optimizarea rezistenței reostatului rotoric adițional (s-a admis $u^\circ = 1$);

U_{20} — tensiunea între inele la rotorul în repaus și la alimentarea motorului în stator cu tensiunea nominală ca valoare și frecvență

$x = n_{med}/n_1 = n_{min}/n_1 = n''^*/= n_1 = 1 - s''^*$ — gama de modificare a turației prin metoda variației tensiunii de alimentare.

Bibliografie

[1] *Bartzer, St.* Algoritm de calcul pentru optimizarea puterii mașinilor electrice de acționare utilizate în alte condiții decît cele nominale. Simpozionul de la Univ. „Dunărea de Jos" Galați, 8 aprilie 1983, Vol. **3**: Transporturi. Automatizări, p. 95—102.

[2] *Bartzer, St.* Criteriul de optimizare a acționărilor cu motoare asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare. A II-a Conferință națională de electrotehnică și electroenergetică, Craiova, 1984. Vol. **4**: Motoare electrice rotative, p. 31—40.

[3] *Bartzer, St.* Metodă generală de calcul pentru verificarea la încălzire a puterii mașinilor electrice de acționare utilizate în alte condiții decît cele nominale. Conferința națională de electrotehnică și electroenergetică, Timișoara, 1982, Vol. **6**: Acționări electrice, p. 23—32.

[4] *Bartzer, St.* Utilizarea optimă a puterii motoarelor asincrone alimentate cu tensiune variabilă. Cazul acționării unor mașini de lucru cu caracteristica mecanică independentă de turație. A II-a Conferință națională de electrotehnică și electroenergetică, Craiova, 1984, Vol. **4**: Motoare electrice rotative, p. 21—30.

[5] *Brașovan, M., Seracin, E., Bogoevici, N.* Acționări electrice. Probleme și aplicații industriale. Ediția a doua revizuită și completată. București, Editura tehnică, 1963.

[6] * * * Protocol contract nr. 103,/1983-84, IP „TV" Timișoara — ICSITUMMRTU Timișoara.

[7] *Seracin, E., Prodan, M., Bartzer, Șt., Popovici, D., Scăreanu, P.* Aspects concerning the behaviour of asynchronous machines fed by thyristor voltage variators at cranes. Comunicările SIMECS' 83, București, p. 237—245.

[8] *Seracin, E., Prodan, M., Bartzer, Șt, Popovici, D., Scăreanu, P.* Rezultate experimentale cu privire la funcționarea mașinilor asincrone alimentate prin variatoare de tensiune cu tiristoare. A II-a Conferință națională de electrotehnică și electroenergetică, Craiova, 1984. Vol. **4**: Motoare electrice rotative, p. 251—260.

CZ 621.315.616.97 :621.313.33

COMPONENTE SIMETRICE
MAȘINĂ ASINCRONĂ
TRADUCTOR

Traductor rotativ de componente simetrice

MARIN MIHALACHE, CONSTANTIN GHIȚĂ* — BUCUREȘTI

Introducere

În analiza regimurilor nesimetrice ale rețelelor și mașinilor electrice se utilizează, aproape în exclusivitate, metoda componentelor simetrice [1], potrivit căreia un sistem nesimetric de mărimi trifazate sinusoidale F_1, F_2, F_3 se poate descompune în trei sisteme simetrice de amplitudine F_d, F_i, F_h, conform relațiilor de transformare (1) :

$$[\underline{F}_{1,2,3}] = [\underline{H}]\cdot[\underline{F}_{d,i,h}], \qquad [\underline{F}_{d,i,h}] = [\underline{H}]^{-1}[\underline{F}_{1,2,3}], \tag{1}$$

unde $[H]$ reprezintă matricea de transformare (2) :

$$[\underline{H}] = \begin{array}{c|ccc} & d & i & h \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & a^2 & a & 1 \\ 3 & a & a^2 & 1 \end{array} \quad \text{cu } a = e^{j\,120^\circ} \text{ și } [\underline{H}]^{-1} = \frac{1}{3}[\underline{H}^*]^t. \tag{2}$$

Alături de identificarea analitică sau grafo-analitică a componentelor simetrice, conform relațiilor (1), un deosebit interes prezintă și determinarea pe cale experimentală a acestora.

Față de metodele uzuale [2, 3] care utilizează în general rețele de impedanțe (filtre), pentru realizarea transformărilor (1) în lucrarea de față se propune o nouă metodă bazată pe utilizarea unei mașini asincrone trifazate, simetrică din punct de vedere electric și magnetic, ale cărei înfășurări statorice, dispuse la 120° electrice, permit obținerea comodă a operatorului de rotație a.

1. Principiul metodei

Fie statorul unei mașini asincrone trifazate, cu axele magnetice ale înfășurărilor dispuse la 120° electrice, ca în figura 1, ($p = 1$), pe rotor fiind dispusă o înfășurare monofazată, în gol, cu w_r spire și deschidere β.

Cele trei înfășurări sînt parcurse de un sistem de curenții $\{i_{1,2,3}\}$, nesimetrici dar sinusoidali, ale cărui componente simetrice sînt descrise de următoarele expresii :

$$\{i_{d_{1,2,3}}\} = \hat{I}_d \cos(\omega t + \rho_d - \rho_l), \quad \rho_l = (l-1)\cdot 120^\circ, \quad l = 1, 2, 3,$$
$$\{i_{i_{1,2,3}}\} = \hat{I}_i \cos(\omega t + \varphi_i + \rho_l), \tag{3}$$
$$\{i_{h_{1,2,3}}\} = I_h \cos(\omega t + \varphi_h),$$

axa de timp ($t = 0$) coincizînd cu axa FS din figura 1.

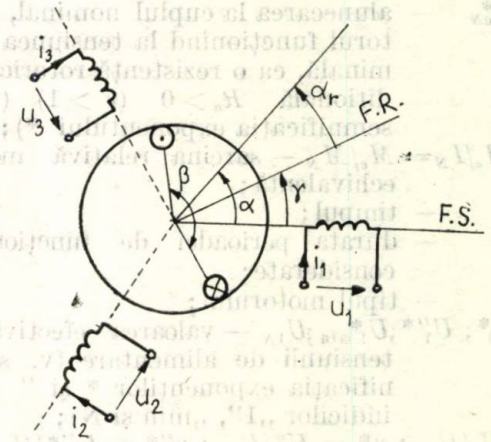


Fig. 1. Asupra alegerii axelor de referință.

Presupunînd înfășurările sinusoidal distribuite (respectiv se neglijează armonicele spațiale superioare), cîmpul magnetic rezultant din întrefier, în sistemul de referință FS fix față de stator, se obține ca suma a două cîmpuri magnetice învîrtitoare, circulare, conform relației (4) :

$$B_r(\alpha, t) = B_d \cos(\omega t + \varphi_d - \alpha) + B_i \cos(\omega t + \varphi_i + \alpha), \tag{4}$$

mărimile B_d și B_i fiind, în ipoteza liniarității circuitului magnetic, proporționale cu componentele I_d, respectiv I_i, componenta homopolară neavînd contribuții în expresia $B_r(\alpha, t)$ în ipotezele de mai sus.

Cu notațiile : $\varphi_d = \varphi_s - \varepsilon$ și $\varphi_i = \varphi_s + \varepsilon$, din figura 2, expresia (4) devine :

$$B_r(\alpha, t) = (B_d + B_i)\cos(\omega t + \varphi_s)\cos(\varepsilon + \alpha) + (B_d - B_i)\sin(\omega t + \varphi_s)\sin(\varepsilon + \alpha). \tag{5}$$

* Dr. ing. *Mihalache, M.*, dr. ing. *Ghiță, C.* — Institutul politehnic — București.

Tensiunea electromotoare indusă în înfășurarea rotorică se calculează cu relația (6):

$$e_r(t) = -\frac{d\psi_r}{dt}, \quad \psi_r = \int_{-\beta/2}^{\beta/2} w_r \cdot B_r(\alpha, t)\, dA_r,$$
$$dA_r = LR\, d\alpha, \quad \alpha = \alpha_r + \gamma, \qquad (6)$$

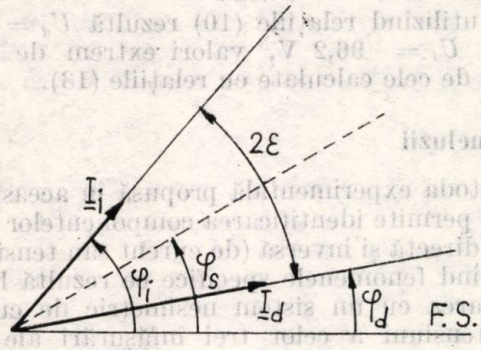


Fig. 2. Asupra defazajului dintre componentele I_d și I_i.

obținîndu-se expresia (7) unde s-a utilizat și relația de proporționalitate între B și I; γ fiind unghiul de poziție definit în figura 1:

$$e_r(t) = \sqrt{2}\, k_i [(I_d + I_i)\sin(\omega t + \varphi_s)\cos(\gamma + \varepsilon) +$$
$$+ (I_i - I_d)\cos(\omega t + \varphi_s)\sin(\gamma + \varepsilon)], \qquad (7)$$

respectiv sub forma:

$$e_r(t) = \sqrt{2}\, E_r \cos(\omega t + \varphi_s - \psi) =$$
$$= \sqrt{2}\, k_i \cdot \sqrt{I_d^2 + I_i^2 + 2 I_i I_d \cos 2(\gamma + \varepsilon)} \cdot$$
$$\cdot \cos(\omega t + \varphi_s - \psi), \qquad (8)$$

unde:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{(I_d + I_i)\cos(\gamma + \varepsilon)}{(I_i - I_d)\sin(\gamma + \varepsilon)}.$$

Relația (8) demonstrează că valoarea eficace E_r a tensiunii măsurate la bornele înfășurării rotorice variază între limitele:

$(E_r)_{max} = K_i (I_d + I_i)$ și $(E_r)_{min} = K_i (I_d - I_i)$ pentru $\gamma + \varepsilon = 0$, și respectiv $\gamma + \varepsilon = \frac{\pi}{2}$, astfel că:

$$I_d = \frac{(E_r)_{max} + (E_r)_{min}}{2 k_i},$$
$$I_i = \frac{(E_r)_{max} - (E_r)_{min}}{2 k_i}. \qquad (9)$$

În cazul determinării componentelor simetrice U_d și U_i, ale unui sistem nesimetric de tensiuni de linie U_1, U_2, U_3 (înfășurările statorice conectate în triunghi), în mod similar se obțin relațiile:

$$U_d = \frac{(E_r)_{max} + (E_r)_{min}}{2 k_u},$$
$$U_i = \frac{(E_r)_{max} - (E_r)_{min}}{2 k_u}. \qquad (10)$$

Schemele de măsură utilizate (pentru curenți, respectiv pentru tensiuni) sînt prezentate în figura 3.

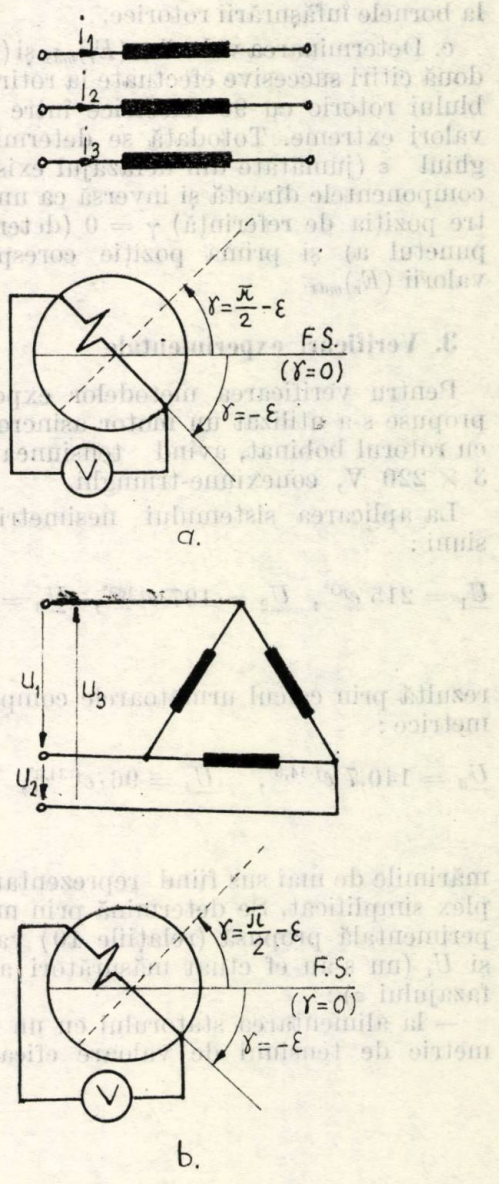


Fig. 3. Scheme de măsură ale componentelor directe și inverse ale unor sisteme nesimetrice de curenți (a), respectiv de tensiuni de linie (b).

Astfel, determinarea componentelor U_d și U_i (respectiv I_d, I_i), precum și a defazajului 2ε dintre acestea, necesită următoarele operații:

a. Determinarea originii $\gamma = 0$, respectiv a poziției de coincidență între axele magnetice

ale înfășurării rotorice (FR) și înfășurarea 1 (FS), conform figurii 1.

b. Determinarea coeficientului de proporționalitate K_u (sau K_i), prin alimentarea înfășurărilor statorice cu un sistem simetric de tensiuni (sau curenți) de valoare eficace U_s (sau I_s) :

$$K_u = \frac{E_r}{U_s}, \quad K_i = \frac{E_r}{I_s}, \tag{11}$$

E_r fiind valoarea eficace a tensiunii măsurate la bornele înfășurării rotorice.

c. Determinarea valorilor $(E_r)_{max}$ și $(E_r)_{min}$ prin două citiri succesive efectuate la rotirea ansamblului rotoric cu 90° electrice între cele două valori extreme. Totodată se determină și unghiul ε (jumătate din defazajul existent între componentele directă și inversă ca unghiul dintre poziția de referință) $\gamma = 0$ (determinată la punctul a) și prima poziție corespunzătoare valorii $(E_r)_{max}$.

3. Verificări experimentale

Pentru verificarea metodelor experimentale propuse s-a utilizat un motor asincron trifazat cu rotorul bobinat, avînd tensiunea nominală 3×220 V, conexiune-triunghi.

La aplicarea sistemului nesimetric de tensiuni :

$$\underline{U}_1 = 215\, e^{j0°}, \quad \underline{U}_2 = 197\, e^{j167°}, \quad \underline{U}_3 = 47\, e^{-j118°}, \tag{12}$$

rezultă prin calcul următoarele componente simetrice :

$$\underline{U}_d = 140{,}7\, e^{j\cdot 14{,}3°}, \quad \underline{U}_i = 96 \cdot e^{j\cdot 34{,}6°}, \quad \underline{U}_h = 0, \tag{13}$$

mărimile de mai sus fiind reprezentate în complex simplificat. Se determină prin metoda experimentală propusă (relațiile 10) valorile U_d și U_i (nu s-au efectuat măsurători asupra defazajului ε) :

— la alimentarea statorului cu un sistem simetric de tensiuni de valoare eficace $U_s = 212$ V, s-a măsurat, la bornele înfășurării echivalente dintre două inele rotorice, tensiunea $E_r = 70$ V, aceeași pentru orice poziție a rotorului, deci $K_u = 0{,}33$;

— la alimentarea statorului cu sistemul nesimetric U_1, U_2, U_3, de mai sus, s-au măsurat, între aceleași două inele rotorice, tensiunile $(E_r)_{max} = 78{,}5$ V, $(E_r)_{min} = 15$ V.

— utilizînd relațiile (10) rezultă $U_d = 141{,}6$ V și $U_i = 96{,}2$ V, valori extrem de apropiate de cele calculate cu relațiile (13).

Concluzii

Metoda experimentală propusă în această lucrare permite identificarea componentelor simetrice directă și inversă (de curent sau tensiune), utilizînd fenomenele specifice ce rezultă la alimentarea cu un sistem nesimetric de curenți sau tensiuni a celor trei înfășurări ale unei mașini asincrone. Metoda este deosebit de simplă, drept traductor putînd servi, într-o primă formă, o mașină asincronă trifazată cu rotorul bobinat, de construcție normală.

Față de metodele uzuale, ce utilizează filtre de componente simetrice, metoda propusă prezintă următoarele particularități :

— măsurătorile nu sînt influențate de frecvență ;

— se pot determina, cu aceeași schemă de principiu, atît componentele simetrice de curent (cu sau fără componentă homopolară), cît și de tensiune (tensiuni de linie), precum și defazajul dintre componenta directă și inversă.

Rezultatele experimentale confirmă, pe deplin valabilitatea metodei propuse, erorile obținute (sub 1%) fiind întru-totul satisfăcătoare.

Bibliografie

[1] *Fortescue, C. L.* Method of symmetrical co-ordinates applied to the solution of polyphase networks. Trans. of A.I.E.E., 1918, vol. **37**, p. 1027.

[2] *Wagner, C. F., Evans R. D.* Symmetrical components. Mc. Graw Hill, Book Company, N. Y. 1933.

[3] *Manolescu, P., Golovanov, C.* Măsurări electrice și electronice. București, Ed. didactică și pedagogică, 1979.

[4] *Bălă, C. V.* Mașini electrice. București, E.D.P., 1982.

[5] *Gheorghiu, I. S., Fransua, Al.* Tratat de mașini electrice vol. 3, București, Ed. academiei, 1971.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini apare în cadrul Oficiului de informare documentară al Institutului de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.). Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 şi 695 plata abonamentelor făcîndu-se prin madat poştal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 3017.7.02.01 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii, ca şi pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA şi AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export-import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001. — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea „Informaţia“
Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 1148

1985 AUG 22

64 E 2040/1 04 Elektrotech.

R 1985 AUG 29

REFERALVA

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 33 • NR. 5 • IULIE 1985

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

Anul 33 Nr. 5 iulie 1985

BIBLIOTECA CENTRALĂ A MUZEELOR INFORMAȚII ȘI RELAȚII PUBLICE

CUPRINS

CZ 621.3.047 :523.72

CAPTATOARE SOLARE
GEOMETRII DE CAPTARE

Toma, E. : **Eficienţa geometrică a captatoarelor solare cu concentrare.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, iulie 1985, p. 183

Se prezintă rezultatele estimării eficienţei geometrice a diferitelor tipuri de captatoare solare în funcţie de sistemele de orientare şi de modul de urmărire a soarelui. Se definesc noţiunile de: radiaţie disponibilă, radiaţie maxim posibilă, unghi şi factor de incidenţă, eficienţă geometrică, prezentîndu-se tabele cu valori numerice orare ale cosinusului unghiului de incidenţă, în medii lunare, pentru şapte geometrii de captare: sistemul polar; captatorul orizontal cu axa pe direcţia nord-sud; captatorii cu axa pe direcţia est-vest cu urmărire diurnă sau zilnică; captator fix înclinat cu un unghi egal cu latitudinea: captator orizontal fix; captator orizontal cu axa pe direcţia est-vest şi poziţionare periodică.

CZ 621.752 :534.11

VIBRATOARE ELECTROMAGNETICE
METODOLOGIE DE PROIECTARE

Darie, S., Vădan, I. : **Asupra proiectării unor vibratoare electromagnetice cu premagnetizare în curent continuu.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, iulie 1985, p. 190

Lucrarea prezintă o metodologie unitară şi simplificată de proiectare a vibratoarelor electromagnetice cu premagnetizare în curent continuu, atît pentru cele cu flux longitudinal, cît şi pentru cele cu flux transversal. Metoda de proiectare propusă de autori a fost verificată practic pentru vibratoarele electromagnetice proiectate şi executate pentru industrie.

CZ 621.313 :621.3.44

MAŞINI ELECTRICE MARI
ÎNCĂLZIREA ROTORULUI

Popescu, D., Curiac, P. : **Măsurarea încălzirii rotoarelor la pornirea motoarelor mari prin cuplare directă la reţea.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, iulie 1985, p. 197

În vederea stabilirii unei baze sigure de verificare a metodelor de calcul al încălzirii rotoarelor motoarelor de curent alternativ, cu refulare a curentului, s-a determinat experimental încălzirea maximă a rotorului la pornirea prin cuplare directă la reţea atît a unui motor sincron de 5 MW, cît şi a unui motor asincron de 3,8 MW.

CZ 621.314.6 :621-8

REDRESOR COMANDAT
ACŢIONĂRI CU MOTOARE DE C.C.

Suceveanu, I. D. : **Redresor comandat cu număr variabil de pulsuri.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, iulie 1985, p. 201

Redresorul comandat, prezentat în mai multe variante cu comutaţie naturală sau forţată, are o schemă de forţă originală ce permite minimizarea armonicelor de ieşire cu efecte favorabile pentru utilizarea redresorului în acţionările reglabile cu motoare de curent continuu şi la construcţia convertizoarelor statice de frecvenţă indirecte.

CZ 621.316.047

APARATE DE COMUTAŢIE ÎN VID

Pavelescu, D. : **Dispozitiv de acţionare rapidă a instalaţiei de încercare a contactelor aparatelor de comutaţie în vid.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, iulie 1985, p. 209

Se expun consideraţiile teoretice şi rezultatele experimentale ale unui dispozitiv de acţionare a instalaţiei de încercări, echipat cu un declanşator electrodinamic de mare rapiditate şi dispersie minimată, elaborat de autor.

CZ 621.318.73 :621.3.07

FILTRE TRANSVERSALE
ALGORITM DE REGLAJ

Mitescu, I. : **Corecţia în domeniul timp folosind filtre transversale cu ajustare manuală.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, iulie 1985, p. 215

Articolul se referă la posibilităţile teoretice şi practice de corecţie în domeniul timp; folosind filtre transversale cu ajustare manuală a coeficienţilor. Se prezintă teoretic algoritmurile de reglaj şi un filtru transversal realizat de autor.

CZ 621.3.072.2

DISPOZITIV DE REGLARE A TENSIUNII

Cernomazu, D. : **Consideraţii asupra dispozitivelor pentru reglajul continuu al tensiunii. Contribuţii la perfecţionarea lor.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, iulie 1985, p. 220

Lucrarea prezintă o variantă constructivă a dispozitivelor pentru reglajul continuu al tensiunii.

RECENZIE 229

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. ing. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei R. S. România ; prof. dr. ing. C. APETREI ; acad. dr. doc. şt. tehn. ing. A. AVRAMESCU ; ing. I. BĂTRÎNA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. N. BOŢAN ; dr. ing. C. BULUCEA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. V. CEOCEONICĂ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. T. DORDEA ; prof. dr. ing. M. DRAGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HANGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; prof. dr. ing. S. PUŞCAŞU ; ing. M. SÎRBU ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI
Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.3.047: 523.72
СОЛНЕЧНЫЕ ПРИЕМНИКИ
ГЕОМЕТРИИ ДАТЧИКОВ

Тома, Е.: **Геометрическая эффективность солнечных приёмников концентрации.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, №. 5, июль 1985 г., стр. 183

Представлены результаты оценки геометрической эффективности разных типов солнечных приёмников в зависимости от систем направления и от способа слежения солнца. Определены понятия: свободной радиации, максимальновозможной радиации, угла и коэффициента падения, геометрической эффективности, представляя среднемесячные таблицы со численными часовыми значениями косинуса угла падения для семи конфигураций приема: полярная система; горизонтальный приёмник с осью по северноюжному направлениям; приёмники с осью по восточно-западному направлениям с суточным или ежедневным слежениями; постоянный приёмник наклоный с углом равным широте; постоянный горизонтальный приёмник; горизонтальный приёмник с осью по восточно-западному направлениям и с периодическим установлением в определенном положении.

УДК 621-752: 534.11
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВИБРАТОРЫ
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Дарие, С., Вэдан, И.: **По проектированию некоторых электромагнитных вибраторов с преднамагничиванием постоянного тока.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, №. 5, июль 1985 г., стр. 190

Работа представляет единую упрощенную методику проектирования электромагнитных вибраторов с преднамагничиванием постоянного тока, как для тех с продольным потоком, так и для тех с поперечным потоком. Предложенный авторами метод проектирования был практически проверен для электромагнитных вибраторов, проектированных и исполненных для промышленности.

УДК 621.313.:621.3.44
МОЩНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ПОГРЕВ РОТОРА

Попеску, Д., Куриак, П.: **Измерение нагрева роторов при пуске мощных двигателей, при их непосредственном подключении к сети.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, №. 5, июль 1985 г., стр. 197

Ввиду установления надёжной основы для проверки расчётных методов нагревания роторов двигателей переменного тока, был экспериментально определён максимальный нагрев ротора, при пуске, осуществленном непосредственным его подключением к сети, как синхронного двигателя 5-мВт, так и асинхронного двигателя 3,8 мВт.

УДК 621.314.6: 621-8
УПРАВЛЕННЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО
ТОКА

Сучевеану, И. Д.: **Управленный выпрямитель с переменным количеством импульсов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, №. 5, июль 1985 г., стр. 201

Управленный выпрямитель, представленный в более многих вариантах с непринужденным или принужденным переключениями, имеет схему оригинальной силой, позволяющей минимизацию выходных гармоник с благоприятными эффектами для использования выпрямителя в подстроечных управлениях двигателями постоянного тока и в конструкции статических преобразователей косвенной частоты.

УДК 621.316.047
ПРИБОРЫ ВАКУУМНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Павелеску, Д.: **Устройство быстрого привода установки испытания контактов приборов вакуумного переключения.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, №. 5, июль 1985 г., стр. 209

Представляются теоретические соображения и экспериментальные результаты устройства привода установки испытаний, оснащенного электродинамическим механизмом пуска большой скорости и минимального рассеивания, разработанным автором.

УДК 621.318.73: 621.3.07
ПОПЕРЕЧНЫЕ ФИЛЬТРЫ
АЛЬГОРИФМ НАСТРОЙКИ

Митеску, И.: **Поправка в области времени, используя поперечные фильтры с ручной заправкой.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, №. 5, июль 1985 г., стр. 215

Работа относится к теоретическим и практическим возможностям поправки в области времени; используя поперечные фильтры с ручной заправкой коэффициентов. Теоретически представляются алгорифмы настройки и поперечный фильтр, выполненный автором.

УДК 621.3.072.2
ПРИБОР НАСТРОЙКИ НАПРЯЖЕНИЯ

Черномазу, Д.: **Соображения по приборам для постоянной настройки напряжения. Вклад в их усовершенствовании.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33**, №. 5, июль 1985 г., стр. 220

Работа представляет конструктивный вариант приборов для постоянной настройки напряжения.

РЕЦЕНЗИЯ 229

INHALT

DK 621.3.047. :523.72
SOLAREINRICHTUNGEN;
GEOMETRIEN VON SOLARKOLLEKTOREN

Toma, E.: **Die geometrische Effizienz der Solarkollektoren mit Konzentrierung.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, Nr. 5, Juli 1985, S. 183

Es werden die Ergebnisse der Bewertung der geometrischen Effizienz der verschiedenen Typen von Solarkollektoren dargestellt, in Abhängigkeit von den Orientierungssystemen und der Art der Verfolgung der Sonne. Es werden die Begriffe: verfügbare Strahlung, maximal mögliche Strahlung, Einfallwinkel und-faktor, geometrische Effizienz definiert, indem Tabellen mit numerischen Stundenwerten des Kosinus des Einfallwinkels, in monatlichen Mittelwerten, für sieben Auffanggeometrien dargestellt werden: das Polarsystem; der horizontale Solarkollektor mit der Achse in der Richtung Norden-Süden; die Solarkollektoren mit der Achse in der Richtung Osten-Westen mit täglicher Verfolgung; fester geneigter Solarkollektor mit einem der geographischen Breite gleichen Winkel; fester horizontaler Solarkollektor; horizontaler Solarkollektor mit der Achse in der Richtung Osten-Westen und periodischer Positionierung.

DK 621-752 :534.11
ELEKTROMAGNETISCHE VIBRATOREN
ENTWURFSMETHODOLOGIE

Darie, S., Vădan, I.: **Über den Entwurf einiger elektromagnetischen Vibratoren mit Vormagnetisierung in Gleichstrom.**

E.E.A.- **Electrotehnica 33**, Nr. 5, Juli 1985, S. 190

Die Arbeit stellt eine einheitliche und vereinfachte Entwurfsmethodologie der elektromagnetischen Vibratoren

mit Vormagnetisierung in Gleichstrom dar, sowohl für die Vibratoren mit Längsfluss, als auch für diejenigen mit Querfluss. Die von den Autoren vorgeschlagene Entwurfsmethode wurde für die Industrie projizierten und ausgeführten, elektromagnetischen Vibratoren praktisch geprüft.

DK 621.313 :621.3.44

GROSSE ELEKTRISCHE MASCHINEN
ROTORERWÄRMUNG

Popescu, D., Curiac, P. : **Messungder Rotorerwärmung beim Anlauf von Grossmotoren durch Direktanschluss ans Netz.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, Nr. 5, Juli 1985, S. 197

Für das Erstellen einer sicheren Erprobung der Berechnungsmethoden der Rotorerwärmung bei Wechselstrommotoren mit Stromverdrängung, wurde experimentell die maximale Rotorerwärmung bestimmt, beim Anlauf durch Direktanschluss ans Netz sowohl eines Synchronmotors von 5 MW, als auch eines Asynchronmotors von 3,8 MW.

DK 621.314.6 :621-8

GESTEUERTER GLEICHRICHTER
ANTRIEBE MIT GLEICHSTROMMOTOREN

Suceveanu, I. D. : **Gesteuerter Gleichrichter mit variabler Pulszahl.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, Nr. 5, Juli 1985, S. 201

Der gesteuerte Gleichrichter, dargestellt in mehreren Varianten mit natürlicher oder Zwangsumschaltung, hat ein originelles Kraftschema, das die Herabminderung der Ausgangsharmonischen gestattet, mit günstigen Effekten für den Einsatz des Gleichrichters in den regelbaren Antrieben mit Gleichstrommotoren und beim Bau der statischen indirekten Frequenzumformer.

DK 621.316.047

GERÄTE FÜR DIE UMSCHALTUNG IM VAKUUM

Pavelescu, D. : **Vorrichtung fürd en schnelleen Antrieb der Prüfanlage für die Kontakte der Geräte für die Umschaltung im Vakuum.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 5, Juli 1985, S. 209

Es werden die theoretischen Betrachtungen und die experimentellen Ergebnisse einer Antriebsvorrichtung für die Prüfanlage dargestellt, eine Vorrichtung, die mit einem elektrodynamischen Auslöser grosser Schnelligkeit und herabgeminderter Dispersion ausgerüstet ist und die vom Autor ausarbeitet wurde.

DK 621.318.73 :621.3.07

QUERFILTER
REGELALGORITHMUS

Mitescu, I : **Die Korrektion Bereich Zeit, indem Querfilter mit Handadjustierung eingesetzt werden.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, Nr. 5, Juli 1985, S. 215

Die Arbeit bezieht sich auf die theoretischen und praktischen Korretkionsmöglichkeiten im Bereich Zeit, indem Querfilter mit Handadjustierung der Koeffizienten eingesetzt werden. Es werden die Regelalgorithmen und ein vom Autor realisierter Querfilter theoretsich dargestellt.

DK 621.3.072.2

VORRICHTUNG FÜR DIE SPANNUNGSREGELUNG

Cernomazu, D. : **Betrachtungen über die vorrichtungen für die Dauerregelung der Spannung. Beiträge zu deren Perfektionierung.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, Nr. 5, Juli 1985, S. 220

Die Arbeit stellt eine konstruktive Variante der Vorrichtungen für die Dauerregelung der Spannung dar.

CONTENTS

DC 621.3.047 :523.72

SOLAR COLLECTORS
GEOMETRIES OF CAPTURE

Toma, E. : **Geometric efficiency of solar collectors with concentration.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, July 1985, p. 183

The paper presents the estimation results of the geometric efficiency of various types of solar collectors in keeping with the orientation systems and with the way of watching the sun. The author defines the concepts of: available radiation, maximum admisible radiation, angle and factor of incidence, geometric efficiency presenting tables with hour numerical values of the angle of incidence cosine, in monthly averages, for seven geometries of capture: the polar system, the horizontal collector with the axis in the north-south direction; the collectors having the axis in the east-west direction with daily watching; a fixed collector inclined with an angle equal to the latitude; a fixed horizontal collector; a horizontal collector with the axis in the east-west direction and periodical positioning.

DC 621-752 :534.11

ELECTROMAGNETIC VIBRATORS
DESIGN METHODOLOGY

Darie, S., Vădan, I : **On designing electromagnetic vibrators with direct current premagnetization.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, July 1985, p. 190

The paper presents a unitary and simplified methodology of designing electromagnetic vibrators with direct current premagnetization both for those with longitudinal flux and with cross flux. The designing method proposed by the authors was actually verified for electromagnetic vibrators designed and performed for industry.

DC 621.313 :621.3.44

LARGE ELECTRIC MACHINES
ROTOR HEATING

Popescu, B., Curiac, P. : **Heating rotors measurement at large motors starting by direct coupling to the network.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, July 1985, p. 197

With the view of establishing a safe basis of checking the rotor heating calculation for alternating current motors with pronounced eddy-current effect, rotor maximum heating was experimentally determined at starting by direct coupling to the network of both a 5 MW synchronous motor and a 3.8 MW induction motor.

DC 621.314 :6 :621-8

CONTROLLED RECTIFIER
DIRECT CURRENT DRIVES

Suceveanu, I. D. : **Controlled rectifier with a variable number of pulses.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, July 1985, p. 201

The controlled rectifier, presented in several variants with natural or forced drives, has a diagram of original force that permits the minimization of output harmonics with favourable effects in order to use the rectifier in adjustable drives with direct current motors and at the construction of static indirect frequency convertors.

DC 621.316.047

VACUUM-SWITCHING APPARATUS

Pavelescu, D. : **Device of rapid operation of the vacuum-switching apparatus contact test equipment.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, July 1985, p. 209

There are presented the theoretical considerations and the experimental results of a test equipment operation device supplied with an electro-dynamic highly rapid and minimizedly dispersed release elaborated by the author.

DC 621.318.73 :621.3.07

CROSS FILTERS
ADJUSTMENT ALGORITHM

Mitescu, I. : **Time range correction using cross filters with manual adjustment.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, July 1985, p. 215

The article refers to theoretical and practical possibilities of time range correction using cross filters with manual adjustment of the coefficients. Theoretical adjustment algorithms and a cross filter achieved by the author are presented.

DC 621.3.072.2

VOLTAGE REGULATOR

Cernomazu, D. : **Considerations on permanent control devices of voltage. Contributions to their improvement.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, July 1985, p. 220

The paper presents a constructive variant of voltage permanent control devices.

REVIEW

SOMMAIRE

CD 621.3.047 :523.72

CAPTEURS SOLAIRES
GEOMETRIES DE CAPTEURS

Toma, E. : **L'efficience géometrique des capteurs solaires à concentration.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, juillet 1985, p. 183

On presents les resultats de l'estimation de l'efficience géometrique de diverse types de capteurs solaires en fonction des systhemes d'orientation de la maniere d'observation du soleil. On definit les notions de: radiation disponible, radiation maximus possible, angle et facteur d'incidence, efficience géometrique, en presentant des tableaux avec des valeurs numeriques oraires du cosinus d'angle d'incidence, dans des moyenne mensuelles pour sept geometries de captage: le systheme polaire; le capteur horizontal avec son axe orientée vers la direction nord-sud; les capteurs avec l'axe orientée vers la direction est-ouest avec observation diurne on journalière; les capteur fixe incliné avec un angle egal a l'atitude: le capteur horizontal fixe; le capteur horizontal avec son axe vers la direction est-ouest et orientation periodique.

CD 621-752 :534.11

VIBRATEURS ÉLECTROMAGNETIQUES
METHODOLOGIE D'ÉLABORATION

Darie, S, Vădan, I. : **Sur l'élaborations de certaines vibrateurs électromagnetiques a premagnetisation en courant continuu.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, juillet 1985, p. 190

L'ouvrage presente une methodologie unitaire et simplifie d'élaborration des vibrateurs électromagnetiques avec premagnetisation en curent continuu tant pour ceux à flux longitudinel, que pour ceux à flux transversal. La méthode d'élaboration proposée par les auteurs a été verifiée pratiquement pour les vibrateurs électromagnetique élaborés et executés pour l'industrie.

CD 621.313 :621.3.44

GRANDES MACHINES ÉLECTRIQUES
ECHAUFFEMENT DU ROTOR

Popescu, D., Curiac, P. : **Mesure de l'échauffement des rotors, au démarage des grands moteurs par le couplage direct au reseau.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, juillet 1985, p. 197

Pour l'établissement d'une base certe de verification des méthodes de calcul de l'échauffement des rotors, des moteurs de courant alternatif à refoulement du courant, on a determiné exprimentalement l'echauffement maximum du rotor au demarage par le couplage direct au reseau d'un moteur synchrone de 5 MW, et d'un moteur asynchrone de 3,8 MW.

CD 621.314.6 :621-3

REDRESSEUR COMMANDE
OPERATEURS À MOTEURS DE CC

Suce eanu, I. D. **Redresseur commande a nombre variable de pulsations.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, juillet 1985, p. 201

Le redresseur commande presante en plusieurs variantes à commutation naturelle ou forcée a un schema de force originelle qui permet la reduction des harmoniques de sortie a effet favorable pour l'utilisation du redresseur dans les actions réglables par les moteurs du courant continuu et pour la construction des convertisseurs statiques de frequence indirecte.

CD 621.316.047

APPAREIL DE COMUTATION EN VID

Pavelescu, D. : **Dispositif d'actionement rapide de l'instalation d'essai des contacts des appareils de commutation en vid.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 5, juillet 1985, p. 209

On presente les considerations téorétiques et les resultats experimentaux d'un dispositif d'actionement de l'instalation d'essai doté d'un déclancheur éléctrodinamique de grand rapidité et diffusion minimale, élaboré par l'auteur.

CD 621.318.73 :621.3.07

FILTRES TRANSVERSALES
ALGORITHME DE RÉGLAGE

Mitescu, I : **Correction du domaine temp en utilisant des filtres transversales a reglage manuel.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, juillet 1985, p. 215

L'article presente les possibilites théoriques et pratiques de correction du domain temp : utilisant des filtres transversales a reglage manuel des coefficients. On presente theoriquement les algorithmes de reglage et un filtre transversel réalisé par l'auteur.

CD 621.3.072.2

DISPOSITIF DE REGLER LA TENSION

Cernomazu, D. : **Considerations sur les dispositifs pour le reglage continuu de la tension. Contribution pour leur perfectionnement.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 5, juillet 1985, p. 220

L'ouvrage presente une variante constructive des dispositifs pour le reglage continuu de la tension.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA
ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI

Electrotehnica nr. 5

CZ 621.3.047:523.72

CAPTATOARE SOLARE
GEOMETRII DE CAPTARE

Eficienţa geometrică a captatoarelor solare cu concentrare

EUGENIU TOMA* — BUCUREŞTI

Introducere

Începînd de la limita superioară a atmosferei terestre, radiaţia ce vine de la Soare suferă, în drumul ei spre suprafaţa Pămîntului, o diminuare prin împrăştiere şi absorbţie moleculară la străbaterea straturilor atmosferice; totodată, datorită nebulozităţii, radiaţia capătă, în general, un caracter variabil. Oricare ar fi însă valoarea radiaţiei care ajunge la sol, energia radiativă preluată de un captator variază cu poziţia geometrică a captatorului, adică cu orientarea sa, precum şi cu modul de urmărire a Soarelui, dacă suprafaţa captatoare este mobilă.

Se numeşte radiaţie *disponibilă* valoarea densităţii puterii radiative efectiv incidente pe captator, valoare care depinde de unghiul făcut în orice moment de suprafaţa captatoare cu direcţia Soarelui [1]. Aşadar, pentru calculul energiei furnizate de un anumit tip de captator solar, trebuie stabilită ca mărime de intrare fracţiunea din radiaţia ce soseşte la sol care este disponibilă preluării în captator.

În cazul ideal al urmăririi perfecte a Soarelui cu ajutorul unui dispozitiv mobil ce se poate roti după două axe şi care păstrează permanent îndreptată pe direcţia Soarelui normala la suprafaţa receptorului de radiaţie, s-ar asigura captarea maximului de radiaţie disponibil, adică a ceea ce s-ar putea defini ca radiaţie totală *maxim posibilă*. Această mărime ar fi indicată să figureze la numitorul raportului prin care se calculează randamentul captatoarelor solare. (De obicei, energia termică produsă de captator se raportează la radiaţia globală pe orizontală, pentru captatoarele plane şi la radiaţia directă normală, pentru captatoarele cu concentrare [2], dar pentru compararea randamentului a unor tipuri foarte diferite de captatoare, este recomandabilă utilizarea radiaţiei totale maxime, definită mai sus).

În imensa majoritate a instalaţiilor, avînd captatoare solare cu concentrare, are loc o urmărire imperfectă a Soarelui, radiaţia efectiv incidentă sau disponibilă urmînd a fi calculată ca produs al puterii radiaţiei ce soseşte din direcţia Soarelui I_n, cu cosinusul unghiului i pe care direcţia Soarelui îl face cu normala la suprafaţa captatoare. Se va asimila suprafaţa de captare ideală cu planul perpendicular pe direcţia razelor solare, iar orice suprafaţă captatoare orientată arbitrar va fi asimilată unui plan. *Unghiul de incidenţă* i al razelor solare faţă de normala la planul captator variază în orice moment din cauza mişcării diurne şi anuale a Soarelui. Se va denumi $\cos i$ *„factor de incidenţă"*, iar radiaţia disponibilă pe planul captatorului va fi $I_n \cos i$.

1. Geometrii de captare

Ţinînd seama de relaţiile astronomice care dau poziţia Soarelui, factorul de incidenţă se poate calcula pentru fiecare tip de orientare (amplasare la sol) şi, în particular, pentru orice mod de urmărire a Soarelui. În cazul general, formula prin care se exprimă cosinusul unghiului de incidenţă este următoarea [3]:

$$\cos i = \sin\delta \sin\varphi \cos\hat{\imath} - \sin\delta \cos\varphi \sin\hat{\imath} \cos\gamma +$$
$$+ \cos\delta \cos\varphi \cos\hat{\imath} \cos H + \cos\delta \sin\varphi \sin\hat{\imath} \cos\gamma \cos H +$$
$$+ \cos\delta \sin\hat{\imath} \sin\gamma \sin H,$$

unde: φ este latitudinea locului (pozitivă în emisfera nordică); δ — declinaţia Soarelui (pozitivă în emisfera nordică); $\hat{\imath}$ — unghiul de inclinare a planului aperturii captatorului faţă de orizontul locului (pozitiv cînd se măsoară înspre sud); γ — azimutul (deviaţia normalei la planul aperturii captatorului faţă de direcţia sud a meridianului locului (pozitiv către vest);

* Dr. fiz. *Toma, E.* Institutul de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică.

H — unghiul orar al Soarelui (pozitiv după amiază).

Considerînd cîteva cazuri posibile de situații geometrice ale captatorului, cazul ideal îl constituie urmărirea Soarelui efectuată cu ajutorul unui dispozitiv mobil în două axe ($i = 0$, $\cos i = 1$), care asigură captarea radiației solare maxim posibile (cazul I). Dacă planul captator este orientat cu fața spre sud, înclinat cu un unghi egal cu latitudinea locului și este mobil în jurul unei singure axe, a cărei proiecție pe orizontală se află în direcția nord-sud, se realizează un montaj denumit „polar" (cazul II). Cînd axa de rotație a planului captator nu este înclinată, ci este situată pe orizontală, în direcția nord-sud, se realizează un captator care trebuie, ca și cel „polar", să urmărească Soarele în mod continuu (mișcare diurnă) de la est la vest (cazul III). Dacă axa de rotație este orizontală, în direcția est-vest, apertura captatorului trebuie îndreptată cu fața spre sud și efectuează o mișcare pe direcția nord-sud; mișcarea de urmărire este fie continuă (cazul IV), fie zilnică, cu poziționare la ora amiezii (cazul V), fie chiar periodică cu poziționare la cîteva zile (caz care se va examina separat). Drept exemple de plan captator fix se vor considera un plan înclinat cu un unghi egal cu latitudinea locului, cu fața spre sud (cazul VI) și un plan așezat orizontal (cazul VII).

Punînd condițiile geometrice pentru menținerea mișcării de urmărire a Soarelui pentru diferitele orientări folosite în practică [4], se obțin, din formula generală a factorului de incidență, formule de calcul pentru fiecare modalitate de urmărire. Noțiunea de *eficiență geometrică* a captatorului rezultă din raportarea radiației disponibile la cea maxim posibilă în orice moment, în ceea ce privește radiația directă, din raportul factorului de incidență ($= \cos i$), la factorul de incidență ideal ($\cos i = 1$). Așadar, eficiența geometrică se exprimă prin valoarea cosinusului unghiului de incidență, în cazul radiației directe.

În tabelul 1 se prezintă, pentru fiecare din cazurile menționate, expresia rezultată pentru factorul de incidență ($\cos i$). Într-un singur caz factorul de incidență nu depinde de unghiul orar, H (cazul II — orientarea „polară"); în două situații el depinde de latitudinea locului, (cazurile III și VII). Figura 1 ilustrează cazurile de orientare pentru captatoarele cilindro-parabolice.

Expresiile pentru $\cos i$ din tabelul 1 pot fi aplicate la estimarea eficienței geometrice a captatoarelor cu concentrare, avînd în vedere componenta directă a radiației. În cazul captatoarelor fără concentrare (care, de obicei, nu sînt mobile) se cere în general factorul de incidență ce se referă la radiația totală (directă plus difuză). Radiația difuză în aproximarea

Tabelul 1

Factorul de incidență a radiației solare directe pentru diferite sisteme de orientare a aperturii captatorului și moduri de urmărire a Soarelui

Cazul	Orientarea	Urmărirea	$\cos i$
I	— normala pe apertură coincide cu direcția Soarelui	continuă	1
II	„polară" (axă în direcția $N-S$, înclinată cu φ)	continuă, prin rotație pe direcția $E-V$	$\cos \delta$
III	axă orizontală, în direcția $N-S$	continuă, prin rotație pe direcția $E-V$	$[(\sin \varphi \cdot \sin\delta + \cos \varphi \cdot \cos\delta \cos H)^2 + \cos^2\delta \cdot \sin^2 H]^{\frac{1}{2}}$
IV	axă orizontală, în direcția $E-V$	continuă, prin rotație pe direcția $N-S$	$(1 - \cos^2\delta \cdot \sin^2 H)^{\frac{1}{2}}$
V	axă orizontală, în direcția $E-V$	zilnică, prin focalizare la amiază	$\sin^2 \delta + \cos^2 \delta \cos H$
VI	plan fix, cu fața spre sud, înclinat cu φ	—	$\cos \delta \cdot \cos H$
VII	plan fix, orizontal	—	$\sin \varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cos \delta \cdot \cos H$

Notă: Notațiile au aceeași semnificație ca în formula generală pentru $\cos i$; în plus, h este înălțimea Soarelui deasupra orizontului ($\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos H \cdot \cos \varphi$).

izotropă depinde de înclinarea planului captator iar, în anumite cazuri de urmărire a Soarelui, se exprimă în funcţie de înălţimea Soarelui. Valoarea radiaţiei difuze este caracteristică climatului zonei în care se amplasează captatorul.

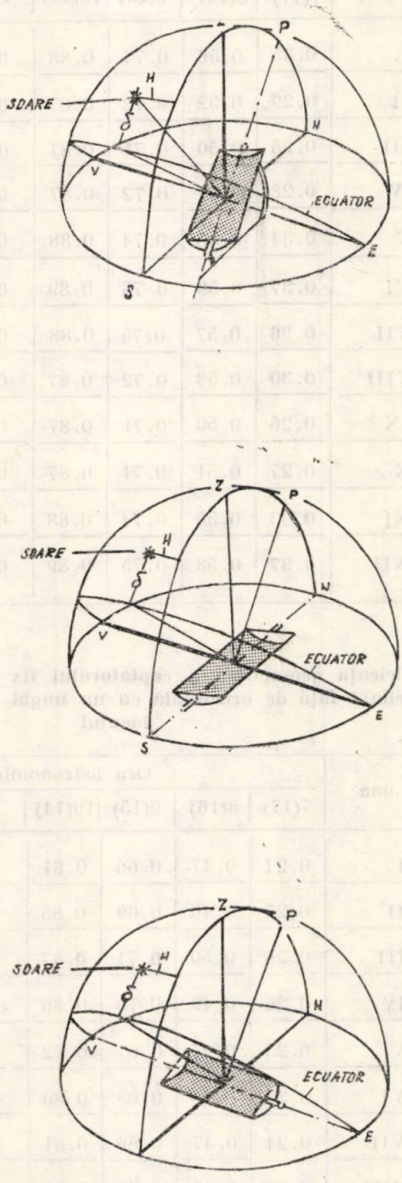


Fig. 1. Sisteme de orientare a captatoarelor cilindro-parabolice: a — orientare nord-sud: montaj „polar" (cazul II din tab. 1); b — orientare nord-sud; orizontal (cazul III din tab. 1); c — orientare est-vest; orizontal (cazurile IV şi V din tab. 1). Notaţii: *N, S, E, V* — punctele cardinale; *Z* — zenit; *P* — polul nord ceresc; *H* — unghiul orar al Soarelui; δ — declinaţia [8].

Se prezintă mai jos, în seria de tabele 2, valorile orare ale factorului de incidenţă (cos *i*) calculate pentru situaţiile cuprinse în tabelul 1. Valorile reprezintă medii lunare, deoarece declinaţia Soarelui a fost introdusă în calcul ca medie lunară.

Tabelul 2.II prezintă valorile cos *i* lunare pentru cazul II din tabelul 1. Tabelul 2.III se referă la cazul III din tabelul 1.

Tabelul 2.IV se referă la variaţia factorului de incidenţă pentru urmărirea continuă a unui captator cu faţa spre sud şi axa de rotaţie orizontală pe direcţia est-vest.

Tabelul 2.V prezintă factorul de incidenţă pentru urmărirea zilnică, prin poziţionarea

Tabelul 2.II

Eficienţa geometrică a captatorului în montaj polar

Luna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
cos*i*	0,93	0,98	1,00	0,99	0,95	0,92	0,93	0,97	1,00	0,99	0,95	0,92

la amiază a planului de captare cu normala în direcţia Soarelui, în cazul axei de rotaţie orizontale pe direcţia est-vest.

Tabelul 2.VI reprezintă variaţia factorului de incidenţă a unei suprafeţe fixe înclinate cu faţa spre sud cu un unghi egal cu latitudinea locului.

În sfîrşit, tabelul 2.VII prezintă factorul de incidenţă pe o suprafaţă fixă orizontală. Este evident că, factorul de incidenţă poate fi calculat pentru orice suprafaţă plană orientată arbitrar, pe baza formulei generale pentru cos*i*.

Dintr-o primă examinare a valorilor factorului de incidenţă, obţinut pentru diferite geometrii, se pot deduce următoarele:

a — montajul „polar" posedă factorul geometric cel mai ridicat (tab. 2.II);

b — montajul orizontal cu axa în direcţia nord-sud, oferă, de asemenea, o bună geometrie de captare a radiaţiei, mai ales pe timp de vară (tab. 2.III);

c — montajul orizontal, cu axa în direcţia est-vest, se situează pe locul al treilea ca eficienţă; el dă diferenţe diurne mici de la vară la iarnă. Urmărirea continuă (tab. 2.IV) nu diferă apreciabil de cea zilnică (tab. 2.V), dar prezintă avantajul unei focalizări perfecte (factorul de incidenţă este mai mic în urmărirea zilnică; el nu a fost inclus în tab. 2.V).

Există posibilitatea unei urmăriri discontinue a Soarelui cu poziţionarea captatorului la cîteva zile; ea este permisă numai în cazul montajului orizontal, cu axa în direcţia est-vest, cînd se poate alege intervalul între poziţionări astfel ca, de exemplu, unghiul de incidenţă a razelor solare faţă de planul de simetrie al captatorului să nu fie mai mare de 3°. Un calcul efectuat în cazul fixării corespunzătoare a captatorului cilindro-parabolic duce la poziţionări chiar la un interval de trei săptămîni în luna august la Bucureşti [5]. În poziţionarea periodică, factorul de incidenţă nu diferă mult de situaţia din tabelul 2.V. Dacă

Tabelul 2.III

Eficiența geometrică a captatorului orizontal cu axa pe direcția nord-sud și urmărire continuă a Soarelui (45° latitudine nordică)

Luna	Ora astronomică						
	6(18)	7(17)	8(16)	9(15)	10(14)	11(13)	12
I	—	—	0,81	0,70	0,57	0,46	0,41
II	—	0,94	0,87	0,77	0,66	0,57	0,54
III	—	0,98	0,92	0,85	0,77	0,70	0,68
IV	—	1,00	0,97	0,93	0,87	0,83	0,81
V	—	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	0,90
VI	0,97	0,99	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93
VII	0,96	1,00	1,00	0,98	0,95	0,93	0,92
VIII	—	1,00	0,99	0,95	0,91	0,87	0,86
IX	—	0,97	0,95	0,89	0,82	0,77	0,75
X	—	0,96	0,89	0,80	0,71	0,63	0,60
XI	—	—	0,83	0,72	0,60	0,50	0,45
XII	—	—	0,80	0,68	0,55	0,43	0,38

Tabelul 2.IV

Eficiența geometrică a captatorului orizontal cu axa pe direcția est-vest și urmărire continuă a Soarelui (pentru orice latitudine)

Luna	Ora astronomică					
	7(17)	8(16)	9(15)	10(14)	11(13	12
I	0,43	0,59	0,75	0,88	0,97	1,00
II	0,33	0,54	0,72	0,87	0,97	1,00
III	0,27	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00
IV	0,30	0,52	0,72	0,87	0,97	1,00
V	0,40	0,57	0,74	0,88	0,97	1,00
VI	0,46	0,60	0,76	0,89	0,97	1,00
VII	0,44	0,59	0,75	0,89	0,97	1,00
VIII	0,35	0,54	0,73	0,87	0,97	1,00
IX	0,27	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00
X	0,29	0,52	0,71	0,87	0,97	1,00
XI	0,40	0,57	0,75	0,88	0,97	1,00
XII	0,46	0,60	0,76	0,89	0,97	1,00

se ia însă în considerație defocalizarea, prezentă în poziționarea periodică, care este mare la capetele zilei, se obțin valorile din tabelul 3, care reprezintă produsul între factorul de incidență și cel de intercepție în poziționarea periodică.

Tabelul 2.V

Eficiența geometrică a captatorului orizontal cu axa pe direcția est-vest și urmărire zilnică a Soarelui (pentru orice latitudine)

Luna	Ora astronomică					
	7(17)	8(16)	9(15)	10(14)	11(13)	12
I	0,35	0,56	0,74	0,88	0,97	1,00
II	0,29	0,52	0,72	0,87	0,97	1,00
III	0,26	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00
IV	0,28	0,51	0,72	0,87	0,97	1,00
V	0,34	0,55	0,74	0,88	0,97	1,00
VI	0,37	0,58	0,75	0,89	0,97	1,00
VII	0,36	0,57	0,75	0,88	0,97	1,00
VIII	0,30	0,53	0,72	0,87	0,97	1,00
IX	0,26	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00
X	0,27	0,51	0,71	0,87	0,97	1,00
XI	0,33	0,55	0,74	0,88	0,97	1,00
XII	0,37	0,58	0,75	0,89	0,97	1,00

Tabelul 2.VI

Eficiența geometrică a captatorului fix cu fața spre sud, înclinat față de orizontală cu un unghi egal cu latitudinea locului

Luna	Ora astronomică					
	7(17)	8(16)	9(15)	10(14)	11(13)	12
I	0,24	0,47	0,66	0,81	0,90	0,93
II	0,25	0,49	0,69	0,85	0,94	0,98
III	0,26	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00
IV	0,26	0,49	0,70	0,86	0,95	0,99
V	0,25	0,47	0,67	0,82	0,92	0,95
VI	0,24	0,46	0,65	0,80	0,89	0,92
VII	0,24	0,47	0,66	0,81	0,90	0,93
VIII	0,25	0,49	0,69	0,84	0,94	0,97
IX	0,26	0,50	0,71	0,86	0,96	1,00
X	0,26	0,50	0,70	0,86	0,96	0,99
XI	0,25	0,48	0,67	0,82	0,92	0,95
XII	0,24	0,46	0,65	0,80	0,89	0,92

2. Eficiența geometrică în cazul radiației directe pentru o zonă climatică dată

Examinarea valorilor factorului de incidență pentru diferite geometrii permite compararea energiilor radiative disponibile pentru

Tabelul 2.VII

Eficiența geometrică a captatorului orizontal fix (45° latitudine nordică)

Luna	Ora astronomică					
	7(17)	8(16)	9(15)	10(14)	11(13)	12
I	—	0,08	0,22	0,32	0,39	0,41
II	0,02	0,19	0,33	0,44	0,51	0,54
III	0,15	0,32	0,47	0,58	0,65	0,67
IV	0,30	0,46	0,61	0,72	0,79	0,81
V	0,40	0,56	0,70	0,81	0,87	0,90
VI	0,45	0,60	0,74	0,84	0,91	0,93
VII	0,43	0,59	0,72	0,83	0,89	0,92
VIII	0,35	0,51	0,66	0,77	0,83	0,86
IX	0,23	0,40	0,54	0,65	0,72	0,75
X	0,08	0,25	0,40	0,51	0,58	0,60
XI	—	0,12	0,26	0,36	0,43	0,45
XII	—	0,05	0,19	0,29	0,36	0,38

diferite tipuri de captatoare. După cum s-a menționat, energia radiației disponibile se obține prin efectuarea produselor între I_n și cos$i$ (de regulă la intervale orare). În cazul că I_n reprezintă valorile radiației directe pe o zi senină, valorile energiei disponibile pe un captator sînt simetrice față de ora amiezii. Dacă se consideră valorile I_n, pentru o zi variabilă, energia disponibilă la anumite ore diferă în mărime absolută de cea dintr-o zi senină însă, eventual, din cauza particularităților locale ale nebulozității, și în mărime relativă. Uneori nici prin medierea lunară valorile radiative măsurate orar nu devin simetrice față de ora amiezii. Se consideră că este utilă examinarea variațiilor energiei disponibile ce se obțin din măsurările de radiație efectuate în condiții climatice concrete.

Dintr-un studiu efectuat pentru S.U.A. [6] rezultă diferențe cantitative mari ale energiei radiației directe disponibile, obținută ca medie anuală, ținînd seama de factorul de incidență pentru diferite tipuri de captatoare, într-o serie de localități cu regimuri de nebulozitate distinctă. În această direcție, se conturează posibilitatea de elaborare a hărții potențialului radiativ al unei țări pentru diferite tipuri de captatoare.

În cele ce urmează nu se vor face referiri la energia radiativă în valoare absolută, ci la eficiența geometrică a captatoarelor. Datele de lucru pentru radiația directă provin din măsurătorile de la București (stația Afumați), valorile existente fiind datele orare obținute de-a lungul a 10 ani (1971—1980). Se știe că o bază de calcul acceptabilă trebuie să provină din date radiative înregistrate pe minimum 5 ani. Concluziile cantitative ce vor rezulta pentru zona București sînt valabile, în principiu, pentru întreaga regiune de sud a R. S. România.

Pentru exemplificare, se va prezenta variația diurnă a radiației directe în valori orare mediate pentru luna iunie la București. În tabelul 4 este înscrisă puterea radiativă în valori procentuale relative (normate la ora amiezii), atît pentru radiația directă primită de un captator ideal, cît și pentru diferitele tipuri de captatoare cu concentrare.

Factorul de incidență folosit a fost cel prezentat în tabelele 2.II, 2.III, 2.IV, și 3 și a generat ultimele patru rînduri din tabelul 4. Dacă se sumează valorile orare pe o zi medie a unei luni, se obține o valoare ce corespunde energiei radiației directe disponibile pe luna respectivă. Prin raportarea valorilor obținute astfel la valoarea reprezentînd suma radiației directe *normale* pe o zi (cazul ideal) se capătă eficiența geometrică pentru diferite captatoare, în condiții climatice reale. Vom conveni să se reprezinte eficiența geometrică tot prin procente. Astfel, captatorul „polar" (cazul II din tab. 1, rîndul 2 din tab. 4), cel de tip nord-sud (cazul III, rîndul 3, respectiv), cel de tip est-vest (cazul IV, rîndul 4) și cel poziționat periodic (tab 3; rîndul 5, tab. 4), dispun în luna iunie, la București, de 92, 97, 72 și respectiv 50 procente din energia radiației directe normale. Estimări relative se pot face pentru fiecare lună în parte, obținîndu-se pentru lunile anului valorile din tabelul 5; valorile din paran-

Tabelul 3

Eficiența geometrică a captatorului orizontal cu axa pe direcția est-vest și urmărire periodică a Soarelui (include factorul de intercepție pentru captatoare cu concentrare)

Luna	Ora astronomică									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
IV	0,00	0,39	0,84	0,97	0,99	0,96	0,86	0,55	0,18	0,00
V	0,00	0,23	0,69	0,97	0,99	0,96	0,69	0,40	0,12	0,00
VI	0,00	0,29	0,88	0,95	0,98	0,95	0,88	0,44	0,10	0,00
VII	0,00	0,34	0,87	0,95	0,98	0,94	0,87	0,72	0,15	0,04
VIII	0,06	0,37	0,81	0,91	0,95	0,91	0,82	0,67	0,17	0,05
IX	0,2[illegible]	0,70	0,87	0,97	1,00	0,97	0,87	0,70	0,39	0,14
X	0,14	0,71	0,88	0,97	0,99	0,97	0,69	0,40	0,21	0,06

teze reprezintă rezultatul calculului cu excluderea orelor cînd energia radiației disponibile este sub pragul de 200 W/m².

Întrucît cifrele reprezintă procente, media anuală a eficienței geometrice este tot în procente; astfel, în tabelul 5 este trecută, de asemenea, media eficienței geometrice pe intervalul aprilie-octombrie.

Variația diurnă a eficienței geometrice a radiației directe normale și a radiației directe disponibile pe timp de vară (lunile iunie, iulie, august) se reprezintă în figura 2. Valorile orare ale eficienței geometrice din lunile de vară au fost mediate, urmărindu-se obținerea de curbe simetrice față de ora amiezii. Alura generală a curbelor de eficiență a diferitelor captatoare sugerează deosebirile esențiale dintre acestea.

Media pe lunile de vară dă, pentru București, eficiențe geometrice de 0,94; 0,95; 0,74 (0,72) și 0,53 (0,52) pentru cele patru tipuri de captatoare din tabelele 4 și 5. Pentru teritoriul

Tabelul 4

Valorile orare relative ale puterii radiației directe pentru diferite tipuri de captatoare (luna iunie, București), **raportate la ora amiezii**

Tipul captatorului	Ora astronomică												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. Ideal	50	76	88	96	102	100	100	102	99	93	82	68	42
2. „Polar"	46	70	81	88	94	92	92	94	91	86	75	63	39
3. N—S	45	75	88	94	98	94	93	96	95	91	82	67	45
4. E—V	—	35	53	73	91	97	100	99	88	71	49	31	—
5. E—V periodic	—	—	—	28	90	95	98	97	87	41	8	—	—

Tabelul 5

Variația lunară a eficienței geometrice pentru diferite tipuri de captatoare
(cifrele reprezintă procente din radiația directă normală înregistrată la București)

Luna	Tipul captatorului			
	Polar	N—S	E—V	E—V periodic
Ianuarie	93	53(51)	90(81)	—
Februarie	98	66(62)	86(81)	—
Martie	100	79(78)	79(77)	—
Aprilie	99	90	75(72)	59(58)
Mai	95	95	76(71)	50(46)
Iunie	92	97	72(72)	50(46)
Iulie	93	96	73(73)	51(51)
August	97	93	76(71)	57(57)
Septembrie	100	85	79(78)	73(69)
Octombrie	99	72	82(76)	72(65)
Noiembrie	95	58(51)	89(75)	—
Decembrie	92	49(45)	92(77)	—
Media anuală	96	78(76)	81(75)	—
Media pe intervalul apr-oct	69	90	77(73)	59(56)

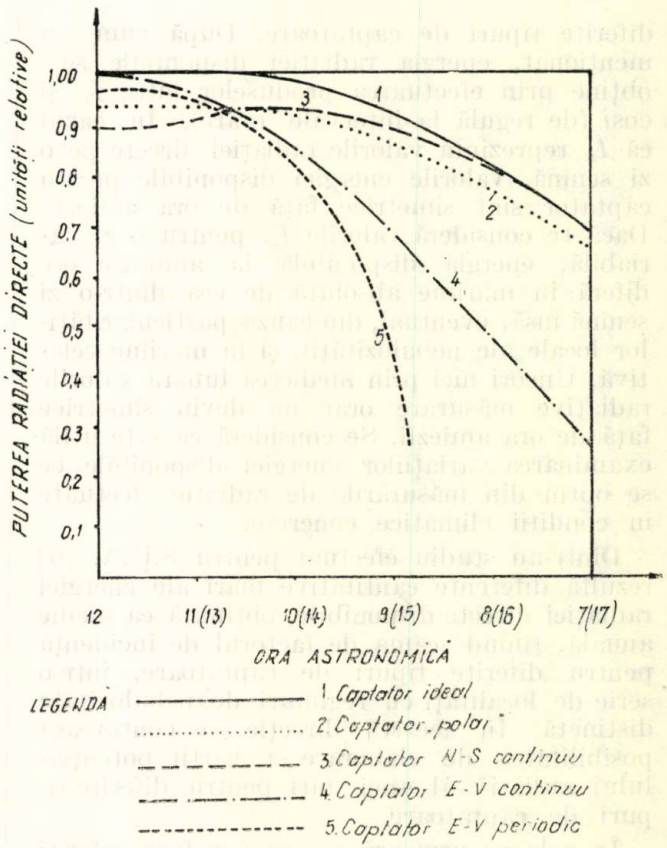


Fig. 2. Variația diurnă a puterii radiației directe incidente pe apertura cîtorva tipuri de captatoare (în unități relative la ora amiezii). Valori mediate pentru lunile de vară (iunie, iulie, august), la București.

S. U. A. [7] aceste valori sînt, respectiv, 0,94 ; 0,97 ; 0,74, — al patrulea tip de captator (cu poziționare periodică) nefiind specificat. Alte calcule [8] efectuate pentru paralela 45° au dat următoarele valori : 0,94 ; 0,95 ; 0,74 ; 0,58, respectiv. Diferențele între rezultatele obținute în literatură sînt foarte mici, deoarece, cu toate deosebirile de regim climatic, factorul preponderent este, în ceea ce privește radiația directă, valoarea unghiului de incidență a acesteia pe apertura captatorului. În concluzie, calculul exact al radiației, ținînd seama de nebulozitate, nu conduce la eficiențe geometrice apreciabil diferite față de cele obținute prin calculul bazat pe datele radiative ale timpului senin. Se poate conclude, în particular că, eficiențele geometrice din tabelul 5 sînt valabile în limite acceptabile pentru ansamblul țării noastre. De reținut este faptul că, în lunile de vară, *energia* disponibilă pe captatorul orientat cu axa în direcția est-vest este sub 80% din energia disponibilă pe captatorul orientat cu axa în direcția nord-sud.

Pentru a face o opțiune între tipurile de captatoare, în funcție de perioada din an propusă pentru funcționare, se pot folosi valorile din tabelul 5. În medie *anuală*, captatorul „polar" se situează pe locul întîi, iar celelalte două captatoare cu urmărire continuă nu diferă practic unul de altul. Cum în țara noastră nebulozitatea este marcată în timpul iernii, este mai semnificativă opțiunea de geometrie între captatoarele cu concentrare în perioada lunilor însorite. În acest caz, la extreme se situează captatorul „polar" și cel orientat periodic, impunîndu-se o examinare a eficienței geometrice a celor două captatoare orizontale unul cu axa est-vest, celălalt cu axa nord-sud. În *intervalul aprilie-octombrie*, captatorul orientat est-vest dispune de numai 85(83)% din *energia* de care dispune cel orientat nord-sud (cifra din paranteză ține seama de pragul de 200 W/m², în ceea ce privește radiația directă). Cauza principală a acestei diferențe constă în faptul că factorul de incidență este mai bun la capetele zilei în ceea ce privește captatorul orientat nord-sud (efect ilustrat în fig. 2, de exemplu).

Ceea ce decide alegerea unui tip de captator este, în cele din urmă, o combinație de factori tehnologici și constructivi. Se observă că cel mai eficient captator din punct de vedere geometric este cel „polar" ; el necesită însă o poziție înclinată, avînd un mers de ceas în vederea urmăririi Soarelui, cu o cursă unghiulară de 180°. Suplimentul de energie pe care-l furnizează nu este totuși important față de captatorul orizontal orientat nord-sud.

Captatorul orizontal orientat nord-sud este mai eficient geometric decît cel orizontal orientat est-vest, dar necesită în urmărirea Soarelui o cursă unghiulară diurnă de 180°. O caracteristică distinctivă a captatorului nord-sud o constituie alura orară practic constantă a energiei disponibile, lipsită de variații mari în cursul zilei.

Energia disponibilă pe captatorul orientat est-vest prezintă o variație puternică la capetele zilei, ceea ce impune un regim adecvat de pompare a fluidului caloportor. Captatorul orientat est-vest are însă o cursă unghiulară de urmărire a Soarelui de cel mult 40° în cursul zilei. În cazul poziționării periodice captatorul orientat est-vest nu necesită aparatură de urmărire a Soarelui, dar pierde energia radiativă de la capetele zilei. Urmărirea continuă a Soarelui este deci necesară pentru sporirea energiei disponibile a captatorului.

Așadar, în *perioada aprilie-octombrie*, în țara noastră, se poate estima că aportul de *energie* radiativă pe captatorul orientat nord-sud este, în comparație cu captatorul orientat est-vest, în orice caz cu 15% mai mare. Această diferență provine exclusiv din caracteristicile geometrice ale sistemului de orientare a captatorului și ale modului de urmărire a Soarelui.

Bibliografie

[1] *Toma, E.* Posibilități de aplicare în R. S. România a instalațiilor solare de producere a apei calde și a aburului tehnologic. În : Educație, economie, energie. **Vol. 2**, Cluj-Napoca, 1982, p. 10.

[2] *Rabl, A.* Concentrating collectors. În : Solar Energy Technology Handbook, Part A, p. 305. M. Dekker New-York, 1980.

[3] *Dănescu, A.* ș. a. Utilizarea energiei solare. Editura tehnică, București, 1980, p. 57.

[4] *Eibling, J. A.*, ș. a. An investigation of multiple-effect-evaporation of saline waters by steam from solar radiation. Report U.S.A., 1953.

[5] x x x Studiu privind utilizarea energiei solare prin folosirea captatoarelor cilindro-parabolice, nr. 31—909. ICPE-IPCT, 1982.

[6] *Dickinson, W.* Annual available radiation for fixed and tracking collectors. Solar Energy, **21**. nr. 3, 1978, p. 249.

[7] *Boes, E.* ș. a. Availability of direct, total and diffuse solar radiation to fixed (and tracking collectors in the U.S.A. SANDIA Report SAN 77—0885, 1977.

[8] *Meinel, A.B.* și *Meinel, M. P.* Applied Solar Energy cap. 3. Addison — Wesley, S.U.A., 1976.

CZ 621-752 : 534.11

VIBRATOARE ELECTROMAGNETICE
METODOLOGIE DE PROIECTARE

Asupra proiectării unor vibratoare electromagnetice cu premagnetizare în curent continuu

SILVIU DARIE, IOAN VĂDAN * — CLUJ-NAPOCA

Introducere

Aplicațiile tehnice ale vibrațiilor sînt numeroase, studiul producerii și utilizării acestora formînd o ramură numită vibrotehnica.

Una din problemele principale în tehnica vibrațiilor este sursa de vibrații mecanice — vibratorul. În lucrarea [1] s-au prezentat principalele tipuri de vibratoare, împreună cu caracteristicile și domeniile de aplicație.

În lucrare, autorii prezintă o metodologie unitară și simplificată de proiectare a vibratoarelor electromagnetice cu premagnetizare în curent continuu, atît pentru cele cu flux longitudinal, cît și pentru cele cu flux transversal.

Metodica de proiectare propusă a fost verificată practic pentru vibratoarele electromagnetice proiectate și construite [5], [6].

În metodica de proiectare propusă, se fac următoarele ipoteze simplificatoare:

— se consideră că funcționarea vibratorului are loc pe porțiunea liniară a caracteristicii magnetice a circuitului magnetic;

— mărimile periodice se consideră cu variație armonică;

— se consideră un material feromagnetic cu permeabilitate magnetică infinită și pierderi în fier neglijabile. „Fierul" (circuitul magnetic în fier), se ia în considerație prin introducerea unui coeficient K_{Fe}, care ține seama de căderea de tensiune magnetică pe porțiunea feromagnetică:

$$K_{Fe} = \frac{\theta_0}{\theta_0 + \theta_{Fe}} < 1, \qquad (1)$$

unde: θ_0 este solenația necesară magnetizării întrefierului;

θ_{Fe} — solenația necesară magnetizării fierului din circuitul magnetic.

Ipotezele admise corespund realității: la vibratoarele electromagnetice întrefierul este relativ mare, ceea ce asigură o liniarizare a caracteristicii circuitului magnetic, iar pierderile în fier sînt mici, datorită realizării circuitului magnetic din tole.

Premizele care stau la baza proiectării vibratorului sînt:

— tipul constructiv și construcția vibratorului sînt determinante, în principal, de necesitatea creării forței impuse de pornire F_p în condițiile date de încălzire și răcire ale bobinei;

— din expresia forței vibratorului rezultă dimensiunile circuitului magnetic și caracteristicile bobinajelor;

— dimensiunile geometrice ale circuitului magnetic rezultă ca mărimi derivate din valoarea determinată pentru secțiunea miezului magnetic (pe baza unor calcule de optimizare pentru circuitul magnetic și pentru bobină) [8, 9];

— la efectuarea calculelor se caută a se utiliza relații simplificate.

1. Calculul forței necesare la un vibrator electromagnetic

Prin tema de proiectare, se cunosc: masa ce se vibrează, frecvența de vibrație, cursa vibrației, precum și alte date referitoare la forma de undă a oscilației, planul de oscilație, restricții referitoare la cîmpul magnetic de dispersie, regimul de funcționare etc.

Se notează cu: F_{iM} — forța de inerție maximă:

$$F_{iM} = (M + m) \cdot a_{max}, \qquad (2)$$

în care:

M, m sînt masa utilă de vibrat, respectiv masa totală proprie a instalației în mișcare, în kg;

a_{max} — accelerația maximă, în m/s²:

y — modulul de rezonanță, dependent de modul de reglare a arcurilor, tipul acestora și coeficientul de amortizare:

$$y = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\pi}\right)^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}, \qquad (3)$$

în care: ν este coeficientul (decrementul) logaritmic de amortizare a oscilației, egal cu logaritmul natural al raportului a două amplitudini consecutive de același semn:

$$\nu = \ln \frac{A_1}{A_2};$$

* Conf. dr. ing. *Darie, S.* și ing. *Vădan, I.* — Institutul politehnic — Cluj-Napoca.

ω_0 — pulsația proprie a instalației ($\omega_0 = \sqrt{\frac{K_e}{M+m}}$; K_e coeficientul de elasticitate echivalent al sistemului elastic);

ω — pulsația instalației.

Deoarece în practică amortizările sînt neînsemnate:

$$y \cong \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}. \qquad (4)$$

La funcționarea cu frecvență constantă a vibratorului, se recomandă funcționarea subrezonantă, iar pentru ω_0 se adoptă $\omega_0 \cong (1{,}04 \ldots 1{,}1)\,\omega$ [10]. De exemplu, dacă se ia $\frac{\omega}{\omega_0} = 0{,}9$ și $\nu = 0{,}1$, atunci modulul de rezonanță (coeficientul dinamic) rezultă $y = 5$; pentru siguranță se recomandă $y = 2{,}5 \ldots 3$, [10].

F_p — forța maximă de pornire:

$$F_p = \frac{F_{iM}}{y} = \frac{(M+m)\cdot a_{max}}{y} = \frac{(M+m)\,\omega^2 X_{max}}{2{,}5 \ldots 3}$$

$$F_p = (0{,}33 \ldots 0{,}4)\,(M+m)\,\omega^2 X_{max}. \qquad (5)$$

2. Vibratorul electromagnetic cu flux transversal — *VEM-T*

Se caracterizează prin aceea că fluxul magnetic în întrefier este perpendicular pe direcția de mișcare a armăturii mobile [2], figura 1.

Conform figurii 1, vibratorul se compune, în principiu, dintr-un circuit magnetic dublu, partea superioară *1* și inferioară 2, înfășurarea de premagnetizare (de c.c.) *3*, cu două secțiuni legate în serie *3a*, *3b*, înfășurarea de curent alternativ 4, cu două secțiuni *4a* și *4b*, legate în serie în opoziție; armătura mobilă *5* formată din două miezuri *5a*, *5b*, legate prin tija *6*.

În lucrările [2], [3] se tratează în detaliu acest tip de vibrator, pentru care se dau ecuațiile de funcționare sub o formă complicată și greu de utilizat în practica de proiectare.

2.1. Calculul forței vibratorului VEM-T

Se notează cu:

θ_a — solenația pentru o înfășurare de curent alternativ;

θ_c — solenația pentru o înfășurare de curent continuu:

$K_0 = \frac{\theta_c}{\theta_{am}}$ — factor, ce caracterizează gradul de premagnetizare în curent continuu al vibratorului.

Determinarea forței se face utilizînd teorema forțelor generalizate, separat pentru porțiunea superioară de circuit, respectiv, pentru

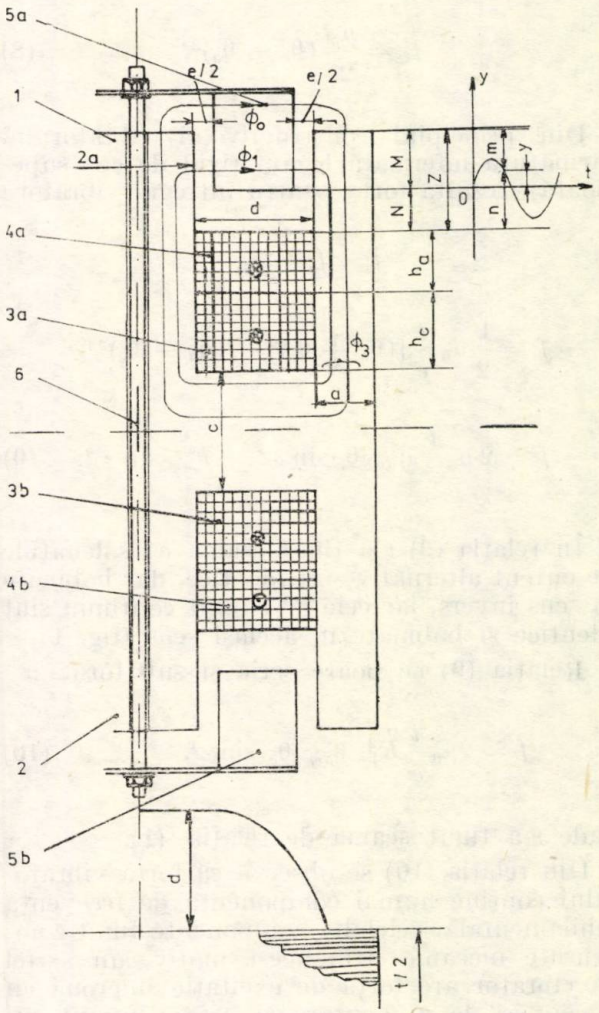


Fig. 1. Vibrator electromagnetic cu flux transversal — *VEM-T*: *1* — circuit magnetic superior; *2* — circuit magnetic inferior; *3 a*, *3 b* — înfășurare de premagnetizare; *4 a*, *4 b* — înfășurare de curent alternativ; *5* — armătură mobilă; *6* — tija de ghidare.

porțiunea inferioară și aplicînd principiul superpoziției pentru determinarea forței rezultante ce acționează asupra armăturii mobile:

$$\bar{f} = \bar{f}_s + \bar{f}_i, \qquad (6)$$

unde:

$$f_s = \frac{dE}{dm} = \frac{d}{dm}\left[\frac{\mu_0 tm}{2e}(\theta_a + \theta_c)^2\right],$$

$$f_s = \frac{\mu_0 t}{2e}(\theta_a + \theta_c)^2, \qquad (7)$$

(s-a neglijat variația energiei magnetice a cîmpului magnetic de dispersie) și :

$$f_i = \frac{d}{dm}\left[\frac{\mu_0 tm}{2e}(-\theta_a + \theta_c)^2\right],$$

$$f_i = \frac{\mu_0 t}{2e}(\theta_c - \theta_a)^2. \quad (8)$$

Din principiul constructiv al vibratorului (armătura inferioară legată rigid de cea superioară), rezultă forța pentru întregul vibrator :

$$f = f_s - f_i,$$

$$f = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{t}{e}[(\theta_a + \theta_c)^2 - (\theta_a - \theta_c)^2],$$

$$f = 2\mu_0 \frac{t}{e}\theta_{am}\,\theta_c \sin\omega t = F_{am}\sin\omega t. \quad (9)$$

În relația (9) s-a ținut seama că solenațiile de curent alternativ sînt identice, dar bobinate în sens invers, iar cele de curent continuu sînt identice și bobinate în același sens (fig. 1).

Relația (9) se poate scrie și sub forma :

$$f = 2\mu_0 \frac{t}{e} K_{Fe}^2\,\theta_{am}\,\theta_c \sin\omega t, \quad (10)$$

unde s-a ținut seama de relația (1).

Din relația (10) se observă că forța vibratorului conține numai componenta de frecvență fundamentală, celelalte componente fiind compensate mecanic. Din acest motiv, un astfel de vibrator are forța de excitație sincronă cu tensiunea de alimentare și este denumit vibrator electromagnetic sincron.

Notînd cu :

$$K_0 = \frac{\theta_c}{\theta_{am}}, \quad (11)$$

expresia forței devine :

$$f = 2\mu_0 \frac{t}{e} K_0 \cdot K_{Fe}^2\,\theta_{am} \sin\omega t. \quad (12)$$

Factorul K_0, în general, este variabil, în sensul că se utilizează la reglarea forței, deci a amplitudinii de oscilație, dar lui i se pot afla și niște valori optime în raport cu diferite criterii de optimizare, cum ar fi : indicatorii energetici (η și $\cos\varphi$ maximi), greutatea materialelor active minimă, tensiunea de frecvență dublă, indusă în bobinele de curent continuu minimă etc.

Impunînd condiția ca volumul de cupru (al înfășurărilor) să fie minim la o valoare dată a forței, rezultă :

$$\theta_{am} \cdot \theta_c = K, \quad (13)$$

$$\theta_{am} + \theta_c = \text{minim}, \quad (14)$$

volumul de cupru este proporțional cu solenația totală : $\theta_{am} + \theta_c$ iar forța cu produsul $\theta_{am} \cdot \theta_c$).

Ținînd seama de relația (11), relațiile (13) și (14) devin :

$$K_0 \theta_{am}^2 = K, \quad (15)$$

$$\theta_{am}(1 + K_0) = \text{minim}. \quad (16)$$

Relațiile (15) și (16) au loc pentru $K_0 = 1$, lucru ce se poate demonstra printr-un calcul matematic simplu.

În proiectare se va căuta posibilitatea de a varia pe K_0 în jurul valorii 1.

2.2. Calculul circuitului magnetic

Din experiența realizării unor astfel de vibratoare și din rațiuni ca : dispersii mici, utilizarea rațională a fierului circuitului magnetic, se recomandă următorii factori și următoarele mărimi :

$$K_1 = \frac{e}{a} = 1{,}05\ldots1{,}2, \quad (17)$$

$$K_2 = \frac{d}{a} = 3\ldots5, \quad (18)$$

$$M = Y_m + (3\ldots5),\ \text{mm}, \quad (19)$$

$$N = Y_m + (6\ldots10),\ \text{mm}, \quad (20)$$

(y_m — amplitudinea maximă a oscilațiilor) ;

$\sigma_0 = 1{,}2\ldots1{,}4$, factor de dispersie a liniilor de cîmp în zona întrefierului δ ; (21)

$K_{Fe} = 0{,}8\ldots0{,}9$ (pentru tole laminate la cald) ; (22)

$$K_0 = 1 ; \quad (23)$$

$$\frac{e}{2} = 1\ldots3 \text{ (din motive tehnologice)} ; \quad (24)$$

$$B_0 = (0{,}8\ldots0{,}9)\text{T} ; \quad (25)$$

$K_u = 0{,}4 \ldots 0{,}5$, factor de umplere a bobinelor. (26)

Aplicînd legea circuitului magnetic de-a lungul unui contur legat de fluxul Φ_1 (figura 1), rezultă :

$$\theta_{am} = \frac{B_0 \cdot e}{\mu_0 K_{Fe} (1 + K_\theta)} \cdot \quad (27)$$

Cu valoarea lui θ_{am}, dată de relaţia (27) şi introdusă în relaţia (9), se poate calcula t (figura 1) :

$$t = \frac{F_{am} \cdot e}{2\mu_0 \cdot K_{Fe}^2 \cdot K_\theta \cdot \theta_{am}^2} \cdot \quad (28)$$

Considerînd fluxul maxim în coloană cînd $y_m = N$ şi $m = Z$ (figura 1), rezultă :

$$\Phi_3 = \Phi_1' + \Phi_0',$$

$$\Phi_3 = \frac{\mu_0}{2e} K_{Fe}(1 + K_\theta)\theta_{am}(z + M\tau_0)t = B_{3m}\frac{t}{2} \cdot a. \quad (29)$$

Prin proiectare, se impune ca, în zona cea mai solicitată magnetic să nu se ajungă la saturaţia fierului :

$$B_3 = (1{,}3 \ldots 1{,}45) \text{ T},$$

$$B_{3m} \leqslant B_3. \quad (30)$$

Din relaţiile (29) şi (30) rezultă :

$$a = \frac{\mu_0 K_{Fe}(1 + K_\theta)(z + M\tau_0)\theta_{am}}{B_3 \cdot e}, \quad (31)$$

θ_{am} rezultă din relaţia (12) unde se impune $F_{am} = F_p$.

Avînd determinată dimensiunea a, din relaţiile (17)...(26) se obţin celelalte dimensiuni ale circuitului magnetic.

2.3. Calculul ferestrei

Solenaţia necesară în curent alternativ :

$$\theta_{am} = N_a \cdot I_{am} = N_a\sqrt{2} j_a \cdot s_a = \sqrt{2}\, j_a(d \cdot h_a) \cdot K_u, \quad (32)$$

de unde rezultă :

$$h_a = \frac{\theta_{am}}{\sqrt{2} j_a K_u \cdot d} \cdot \quad (33)$$

Similar, pentru partea de curent continuu rezultă :

$$h_c = \frac{\theta_c}{j_c \cdot d \cdot K_u} \cong K_\theta\sqrt{2}\, h_a, \quad (34)$$

unde j_a, respectiv j_c sînt densităţile de curent adoptate pentru conductorul înfăşurării de curent alternativ, respectiv curent continuu.

2.4. Calculul înfăşurărilor

a. Înfăşurarea de curent continuu :

$$U_c = R_c I_c = \rho_{cu60} \cdot W_c(4a + 4d + t) j_c, \quad (35)$$

de unde se obţine :

$$W_c = \frac{U_c}{\rho_{cu60} \cdot (4a + 4d + t) \cdot j_c} \quad (36)$$

şi : $I_c = \frac{\theta_c}{W_c}$; $s_c = \frac{I_c}{j_c}$. (37), (38)

b. Înfăşurarea de curent alternativ.

Tensiunea de alimentare U, trebuie să acopere tensiunea indusă prin mişcare :

$$\sqrt{2}U = U_{am} + U_{dm}, \quad (39)$$

cu :

$$U_{am} = 2\omega W_a \cdot B_{am} \cdot s, \quad (40)$$

$$U_{am} = \frac{2 \cdot \omega W_a \cdot K_{Fe}}{e} \mu_0 M(1 + \tau_0) t \cdot \theta_{am}, \quad (41)$$

$$U_{dm} = B \cdot l \cdot v_m,$$

$$U_{dm} = 2\mu_0 \frac{K_{Fe} \cdot K_\theta \cdot \theta_{am}}{e} W_a \cdot t \cdot \omega \cdot y_m. \quad (42)$$

Din (39), (41) şi (42) rezultă :

$$W_a = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{2\omega \mu_0 \frac{t}{e} \theta_{am} \cdot K_{Fe}[M(1 + \tau_0) + K_\theta \cdot y_m]} \cdot \quad (43)$$

Cu valoarea lui W_a, dată de relaţia (43) se obţine :

$$I_a = \frac{\theta_{am}}{\sqrt{2} W_a} \quad (43a)$$

$$S_a = \frac{I_a}{J_a}, \tag{43.b}$$

$$L_a = \frac{U_{am} W_a}{\omega\, \theta_{am}}, \tag{43.c}$$

(inductivitatea proprie și de dispersie);

$$L_d = \frac{U_{dm} \cdot W_a}{\omega \cdot \theta_{am}}, \tag{43.d}$$

(inductivitatea de mișcare).

3. Vibratorul eletromagnetic cu flux longitudinal — *VEM-L*

Se caracterizează prin aceea că fluxul magnetic în întrefier este coliniar cu direcția de mișcare a armăturii mobile, [1] figura 2.

Conform figurii 2, vibratorul se compune, în principiu, din două circuite magnetice independente *1*, *2*, sub formă de *U*, înfășurarea de premagnetizare (în c.c.) *3*, înfășurarea de curent alternativ *4*, cu două secțiuni 4*a* și 4*b* legate în serie, în opoziție, și armătura mobilă *5*.

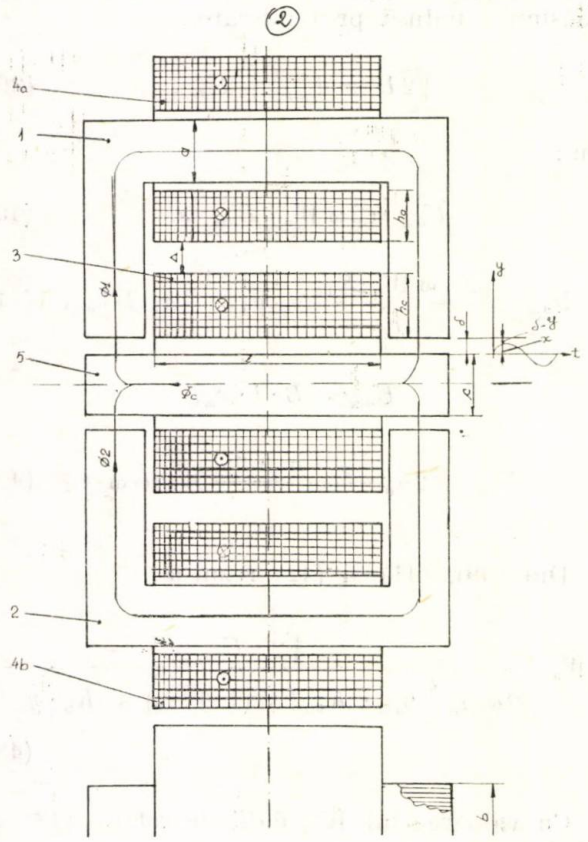


Fig. 2. Vibrator electromagnetic cu flux longitudinal — *VEM-L*: *1*, *2* — circuit magnetic superior, inferior; *3* — înfășurare de premagnetizare; *4a*, *4b* — înfășurări de curent alternativ; *5* — armătură mobilă.

În lucrările [1] și [7] se tratează în detaliu acest tip de vibrator, fără a se indica o metodică de proiectare.

3.1. Calculul forței vibratorului VEM-L

Interesează valoarea forței de pornire a vibratorului, cînd armătura mobilă a acestuia este pe poziție mediană, sau, cu alte cuvinte, cînd $x << \delta$. Cînd x devine comparabil cu δ, forța va crește puțin cu creșterea lui x, acesta fiind un efect pozitiv ducînd la creșterea randamentului.

Conform principiului constructiv și elementelor de detaliu prezentate în [1], forța rezultantă în întrefier, ce va acționa asupra armăturii mobile este:

$$f = f_s - f_i, \tag{44}$$

unde f_s, f_i sînt forțele electromagnetice de tip Maxwell ce acționează asupra armăturii mobile în întrefierul superior, (f_s), respectiv inferior (f_i):

$$f = \frac{\Phi_s^2}{2\mu_0 A_0} - \frac{\Phi_i^2}{2\mu_0 A_0} = \frac{\mu^2{}_0(\theta_a + \theta_c)^2 A_0^2 K_{Fe}^2}{2\mu_0 A_0 4\delta^2} - \frac{\mu^2{}_0(\theta_c - \theta_a)^2 A_0^2 \cdot K_{Fe}^2}{2\mu_0 A_0 \cdot 4\delta^2}, \tag{45}$$

$$f_r = 2f = \frac{\mu_0 A_0 K_{Fe}^2}{\delta^2}\, \theta_a\, \theta_c, \tag{46}$$

(s-a ținut seama că sînt doi poli la un circuit magnetic în formă de *U*).

În cazul unei solenații cu variație armonică:

$$f_r = \frac{\mu_0 A_0 \cdot K_{Fe}^2}{\delta^2} \cdot \theta_c \cdot \theta_{am} \sin \omega t = F_{am} \cdot \sin \omega t. \tag{47}$$

Se observă că, și în acest caz, forța rezultantă este sinusoidală, în ipotezele făcute. Dacă x devine comparabil cu δ, atunci în expresia forței pe lîngă componenta fundamentală apar și armonici, ceea ce duce la distorsiunea forței rezultante și la creșterea ei valorică.

Pentru a evita acest fenomen, în practică se ia $\delta >> x$.

Deoarece expresia forței vibratorului electromagnetic cu flux longitudinal este similară cu cea a vibratorului electromagnetic cu flux transversal, valoarea optimă a lui K_0 se obține în aceleași condiții:

$$K_0 = 1, \tag{48}$$

cu :

$$K_\theta = \frac{\theta_c}{\theta_{am}}, \tag{49}$$

$$F_{am} = \frac{\mu_0 A_0 K_{Fe}^2 K_\theta \theta_{am}^2}{\delta^2}. \tag{50}$$

3.2. Calculul circuitului electromagnetic

Din raţionamentele prezentate la punctul 2.2, şi în acest caz se recomandă :

$$K_1 = \frac{e}{a} = 1{,}05 \ldots 1{,}2, \tag{51}$$

$$K_2 = \frac{l}{a} = 4 \ldots 6, \tag{52}$$

$$\delta = (2{,}5 \ldots 3)\ Y_m, \tag{53}$$

$$K_3 = \frac{b}{a} = 10, \tag{54}$$

$$\Delta = (2 \ldots 6)\ \text{mm}, \tag{55}$$

$$K_{Fe} = 0{,}8 \ldots 0{,}9, \tag{56}$$

$$K_U = 0{,}4 - 0{,}5, \tag{57}$$

(factorul de umplere al ferestrei, ţinînd seama şi de carcasa bobinei).

Aplicînd legea circuitului magnetic pe un contur al fluxului Φ_1, se obţine :

$$\frac{B_0}{\mu_0} 2\delta = K_{Fe} \cdot \theta_{am}(1 + K_\theta), \tag{58}$$

de unde rezultă :

$$\theta_{am} = \frac{2\delta B_0}{\mu_0 K_{Fe}(1 + K_\theta)}. \tag{59}$$

Avînd impusă valoarea forţei, din relaţia (50) rezultă :

$$A_0 = \frac{F_{am}\delta^2}{\mu_0 K_{Fe}^2 \cdot K_\theta \cdot \theta_{am}^2}, \tag{60}$$

Avînd valoarea lui A_0, cu relaţiile (51) ... (57), rezultă :

$$a = \sqrt{\frac{A_0}{K_3}}, \tag{61}$$

$$l = K_2 \cdot a. \tag{62}$$

3.3. Calculul ferestrei

$$\theta_{am} = W_a \cdot I_{am} = \sqrt{2}\, W_a I_a,$$

$$\theta_{am} = \sqrt{2}\, W_a \cdot j_a \cdot S_a = \sqrt{2} \cdot K_u \cdot l \cdot h_a \cdot j_a. \tag{63}$$

Din (63) se obţine :

$$h_a = \frac{\theta_{am}}{\sqrt{2} K_u \cdot l \cdot j_a}, \tag{64}$$

şi :

$$h_c \simeq h_a \sqrt{2},$$

$$\left(h_c = \frac{\theta_c}{j_c K_u \cdot l} \simeq h_a \sqrt{2}\right). \tag{65}$$

3.4. Calculul înfăşurărilor

a. Înfăşurarea de curent continuu :

$$\theta_c = K_\theta \cdot \theta_{am}, \tag{66}$$

$$W_c = \frac{U_c}{\rho_{cu60°c}(2b + 2c + 4h_c) j_c}, \tag{67}$$

$$I_c = \frac{\theta_c}{W_c}, \tag{68}$$

$$S_c = \frac{I_c}{j_c}. \tag{69}$$

b. Înfăşurarea de curent alternativ

Tensiunea de alimentare U trebuie să acopere tensiunea indusă transformatoric (U_a) şi tensiunea indusă prin mişcare (U_d) :

$$u = u_a + u_d, \tag{70}$$

cu :

$$U_{am} = 2W_a \cdot \Phi_{am} = 2W_a \cdot \omega \cdot B_{am0} \cdot A_0,$$

$$U_{am} = 2 W_a \cdot \omega \cdot \frac{\mu_0 \cdot K_{Fe} \cdot \theta_{am}}{2\delta} A_0 \cdot \tau_0, \tag{71}$$

$$U_{dm} = Blv_m,$$

$$U_{dm} = \frac{2\mu_0 K_{Fe} \cdot K_\theta \cdot \theta_{am}}{2\delta} \cdot W_a \cdot 2b \cdot \omega y_m. \tag{72}$$

Din relaţiile (70), (71) şi (72) rezultă :

$$w_a = \frac{\sqrt{2}\,\delta U}{\mu_0 \omega \theta_{am} K_{Fe}(A_0\tau_0 + 2K_\theta\, b\, Y_m)}, \tag{73}$$

$$I_a = \frac{\theta_{am}}{\sqrt{2W_a}}, \qquad (73.\ a)$$

$$S_a = \frac{I_a}{J_a}, \qquad (73.\ b)$$

$$L_a = \frac{U_{am}\, W_a}{\omega\ \theta_{am}}, \qquad (73.\ c)$$

(inductivitatea proprie și de dispersie):

$$L_d = \frac{U_{dm} \cdot W_a}{\omega \cdot \theta_{am}}, \qquad (73.\ d)$$

(inductivitatea de mișcare).

4. Concluzii

Lucrarea prezintă o metodologie unitară și simplificată de proiectare a vibratoarelor electromagnetice cu premagnetizare în curent continuu, atît pentru cele cu flux transversal, cît și cu flux longitudinal.

Metoda propusă a fost verificată prin proiectarea și realizarea mai multor vibratoare [5, 6] pentru industrie, parametrii acestora, determinați experimental, încadrîndu-se, cu suficientă precizie, în valorile obținute cu formulele date în lucrare.

Metodica de proiectare propusă reprezintă calculul preliminar al vibratoarelor electromagnetice cu premagnetizare în curent continuu, acesta urmînd să fie supus unor calcule de optimizare.

Bibliografie

[1] *Pantic, B.* Motor electric cu indus oscilant. Dizertație, Bjeljina, Jugoslavia, 1974.

[2] *Roubicek, O.* Das elektromagnetische Stromfeld des Niederfrequenzsynchronmotor mit Translationsbewegung mit grosser Bahnamplitude. Acta Technika R.S.C. nr. 4/1970.

[3] *Roubicek, O.* Basic equations for the steady state of a low frequency synchronous translatory electromotor with a great amplitude of path. Acta Technica R.S.C., nr. 3/1972.

[4] *Saal, C.* Contribuții la teoria vibratorului electromagnetic polarizat. Electrotehnica, RSR, nr. 2/1968.

[5] *Darie, S.* ș. a. Cercetarea, proiectarea și realizarea unei instalații pentru testarea la vibrații. Contract 54/1982. IEIA Cluj-Napoca.

[6] *Darie, S.* ș. a. Cercetarea și proiectarea unei instalații pentru compactizarea oxidului de aluminiu, cu frecvență variabilă (0···100) Hz, amplitudine variabilă cu măsurarea frecvenței, amplitudinii și accelerației vibrațiilor. Contract nr. 54/1981, I. I. S. Electroceramica, Turda.

[7] *Darie, S., Bălan, H.* Instalație pentru testarea la vibrații a echipamentelor. Partea I. Excitatori de vibrație. În E.E.A — Electrotehnica, 33, nr. 1, ian 1985.

[8] *Liubcik, M. A.* Rascet i proiectirovanie electromagnitov postoianogo i peremenogo toca. Goznergoizdat, 1959.

[9] *Nikitenko, A. G.* ș. a. Proektirovanie elektromagnitov pozadanim dinamiceskim harakteristikam. Elektromechanika, URSS, Nr., 3, 1970.

[10] *Rabinovici, A. N.* ș. a. Avtomaticeskie zagruzociniie ustroistva vibrationogo tipa. Ed. Tehnika, Kiev, 1965.

CZ 621.313 : 621.3.44

Măsurarea încălzirii rotoarelor la pornirea motoarelor mari prin cuplare directă la reţea

DANA POPESCU, PAUL CURIAC * — BUCUREŞTI

Introducere

Creşterea puterii motoarelor de curent alternativ cu pornire prin cuplare directă la reţea, în condiţiile actualelor necesităţi de economisire a energiei, impune utilizarea cît mai raţională a resurselor materiale existente.

Astfel, în ultimul timp, pe măsura creşterii solicitărilor specifice, a crescut şi raportul dintre puterea şi greutatea acestor maşini — necesare acţionărilor din domeniul energeticii, chimiei şi metalurgiei; reducerea continuă a greutăţii se realizează şi pe seama îmbunătăţirii răcirii motoarelor respective.

Cunoaşterea distribuţiei temperaturilor pentru rotoarele motoarelor ce utilizează la pornire fenomenul de refulare a curentului prezintă un interes major în încercarea de îmbunătăţire a răcirii motoarelor de mare putere.

Experienţa dobîndită anterior, prin măsurarea cîmpului de temperaturi în diferite regimuri de funcţionare a turbogeneratoarelor [1], a fost extinsă la determinarea încălzirilor rotorice, atît pentru tălpile polare ale unui motor sincron de 5 MW, 1 000 rot/min cu pornire în asincron, cît şi pentru colivia unui motor asincron de 3,8 MW, 3 000 rot/min.

1. Principiul de măsură

Pentru determinarea încălzirilor punctelor de măsură de pe suprafaţa rotoarelor, la pornirea motoarelor studiate s-a utilizat schema de principiu prezentată în figura 1 [2, 3].

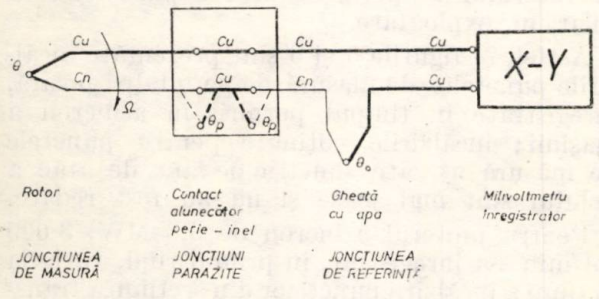


Fig. 1. Schema de principiu a instalaţiei de măsură utilizată.

Astfel, circuitul de măsurare a temperaturii unui punct de pe rotorul studiat porneşte de la joncţiunea de măsură a termocuplului, θ, trece întîi printr-un contact alunecător tip inel-perie (al unui dispozitiv de măsură cu inele şi perii), formînd două termocuple parazite θ_p, apoi prin joncţiunea de referinţă θ_0, prin milivoltmetrul electronic înregistrator $X-Y$ şi ajunge, din nou, la joncţiunea de măsură θ.

Cele două termocuple parazite θ_p, formate la contactul conductor-inel şi, respectiv, perie-conductor, fiind sensibil egale ca valoare a tensiunii termoelectromotoare şi în opoziţie, se compensează reciproc.

Pentru măsurarea încălzirii rotoarelor motoarelor electrice de curent alternativ cu pornire directă la tensiunea nominală s-au utilizat termocuple cupru-constantan (Cu-Cn) realizate din conductoare cu diametrul de 0,5 mm, izolate cu teflon şi fibră de sticlă. Joncţiunea de măsură a fost realizată prin sudarea în mercur a capetelor conductoarelor.

În figura 2 este redată caracteristica de etalonare a termocuplelor selecţionate pentru măsurători în urma operaţiei de îmbătrînire.

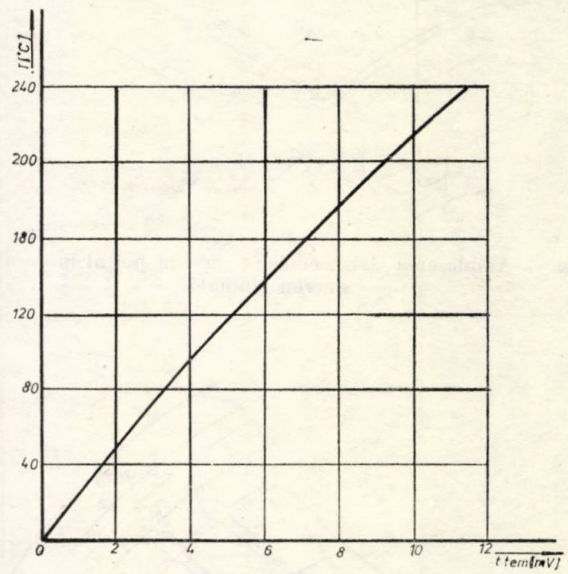


Fig. 2. Curba de etalonare a termocuplelor selecţionate pentru măsurători.

2. Implantarea termocuplelor

Dată fiind valoarea ridicată a forţelor centrifuge, datorită vitezelor periferice relativ ridicate, precum şi diametrelor mari, a rezultat necesitatea unei fixări rezistente din punct de vedere mecanic a sistemelor de măsurare a

* Ing. *Popescu, D.* şi ing. *Curiac, P.* — ICPET — Bucureşti.

temperaturilor pe suprafețele rotoarelor mașinilor supuse încercărilor. S-a urmărit, pe cît posibil, ca modificările constructive impuse de implantarea termocuplelor să nu modifice calitățile de exploatare ale mașinilor respective (rezistența mecanică, rigiditatea dielectrică a izolației etc.).

Astfel, fixarea termocuplelor s-a realizat prin introducerea forțată a joncțiunilor de măsură ale acestora în orificii (cu diametrul de 1,6 mm și adîncimea de 3 mm), practicate în punctele de măsură, orificii închise ulterior prin ciocănire (poansonare).

În acest mod, pe un pol rotoric al motorului sincron de 5 MW, 1 000 rot/min menționat, s-au montat 12 termocuple și anume în punctele în care se presupune apariția unor încălziri maxime în regimul de pornire în asincron al motorului.

Pentru motorul asincron de 3,8 MW, 3 000 rot/min implantarea termocuplelor în rotor s-a făcut conform schiței prezentate în figura 4.

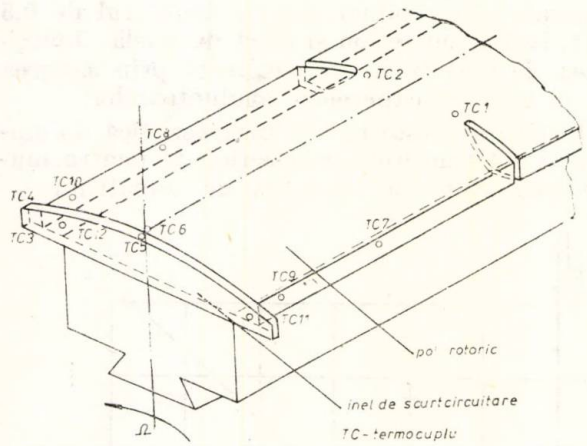


Fig. 3. Amplasarea termocuplelor pe un pol al motorului sincron studiat.

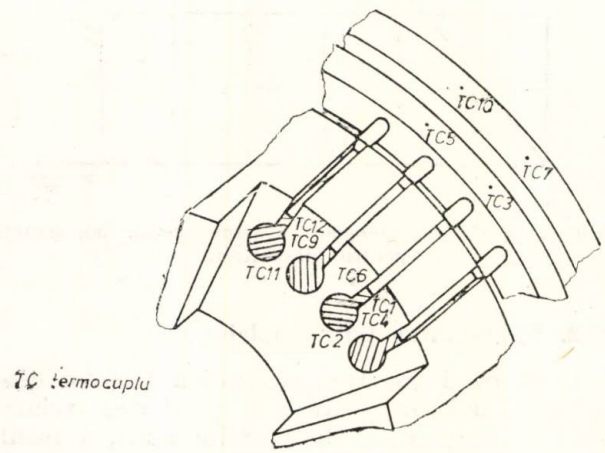


Fig. 4. Amplasarea termocuplelor pe rotorul motorului asincron studiat.

Scoaterea conexiunilor de la locurile de montare a termocuplelor spre capetele arborilor mașinilor au necesitat prelucrări speciale. Astfel, în cazul motorului sincron, s-a executat un canal diametral în fața polului (pe care s-au amplasat termocuplele), privind din capătul opus flanșei de antrenare, precum și alte 4 canale paralele, formate prin degajări executate în lungul generatoarelor conexiunilor axiale semicilindrice ale bobinajului rotoric cu excitatoarea mașinii.

În cazul motorului asincron scoaterea conexiunilor termocuplelor de măsură s-a realizat prin executarea unui canal diametral în fața pachetului de tole rotoric (privind tot din partea opusă cuplajului mașinii), precum și a unuia axial pornind din primul și ajungînd la capătul arborelui.

Ca o măsură de prevedere, după cum se observă și din figurile 3 și 4, circuitele de măsură au fost dublate. În plus, pe tot traseul de la punctele de măsură și pînă la canalele axiale din arborii mașinilor, conexiunile termocuplelor au fost fixate prin lipirea lor cu un chit, realizat pe bază de rășini epoxidice.

Dispozitivul utilizat pentru transmiterea tensiunilor termoelectromotoare ale termocuplelor amplasate în punctele de măsură rotorice la milivoltmetrul electronic înregistrator este un dispozitiv specializat, de construcție Hottinger Baldwin, tip SK 12, cu 12 contacte alunecătoare tip inel (de argint) — perie (din grafit — argint) — utilizabil, deci, pentru înregistrarea simultană a șase mărimi. El s-a cuplat frontal cu arborele fiecărei mașini încercate în parte prin intermediul unor piese intermediare.

3. Rezultatele obținute

Pentru motorul sincron de 5 MW, 1 000 rot/min a fost posibilă determinarea încălzirii rotorului la pornirea prin cuplare directă chiar în exploatare.

Astfel, în figurile 5 și 6 sînt prezentate încălzirile punctelor de măsură de pe o talpă polară, înregistrate în timpul pornirii în asincron a mașinii; încălzirile obținute pentru punctele de măsură așezate simetric pe fața de atac a polului sînt mai joase și nu au fost redate.

Pentru motorul asincron de 3,8 MW, 3 000 rot/min s-a înregistrat, în primul rînd, variația în timp a încălzirii punctelor din secțiunea transversală a unei bare rotorice în regim de rotor blocat.

Astfel, s-a înregistrat variația supratemperaturilor pentru o tensiune de alimentare $U_1 =$ 1,6 kV recomandată [4], pentru motoarele cu tensiunea nominală $U_N = 6$ kV (figura 7). În plus au fost înregistrate și variația în timp a încălzirii inelului de scurtcircuitare a banda-

jului, precum și a armăturii feromagnetice rotorice (figura 8).

Deoarece mașina de lucru acționată de acest motor are valoarea momentului de inerție de cca 10% din cea corespunzătoare momentului

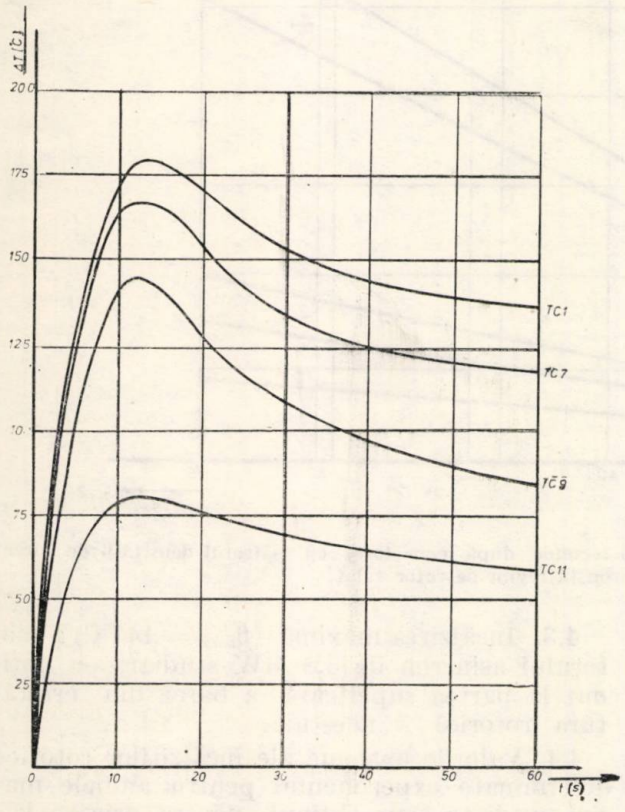


Fig. 5. Variația încălzirii punctelor de măsură de pe muchia de fugă a unui pol rotoric al motorului sincron, amplasate conform figurii 3.

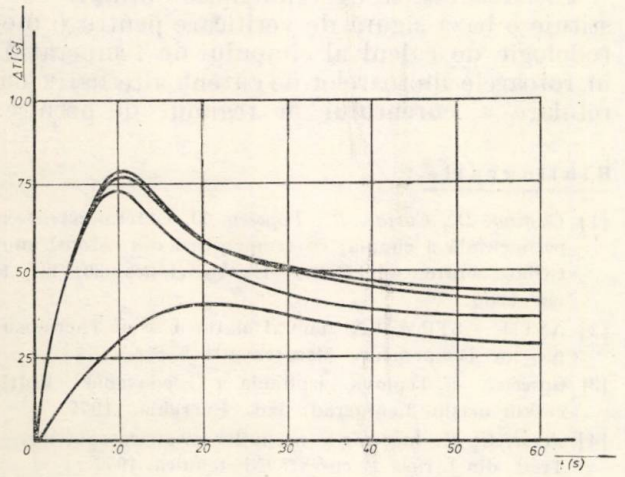


Fig. 6. Variația încălzirii punctelor de măsură de pe partea frontală a unui pol rotoric al motorului sincron, amplasate conform figurii 3.

de inerție al motorului asincron de antrenare, se poate practic aproxima că atît timpul de pornire, cît și încălzirea rotorului, obținute în

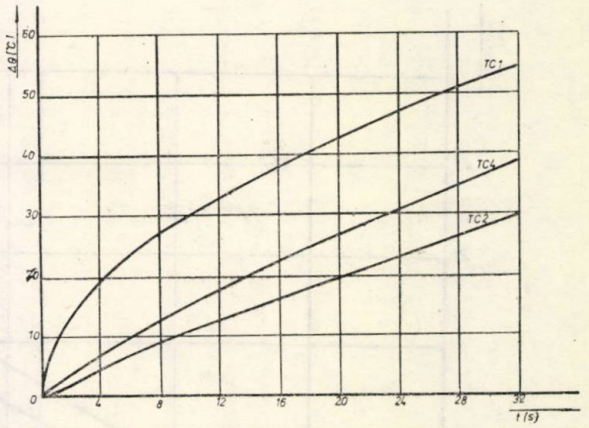


Fig. 7. Variația în timp a încălzirii punctelor de măsură din secțiunea transversală a barei rotorice, în regim de rotor calat pentru tensiunea de alimentare $U_1 = 1{,}6$ kV, [4].

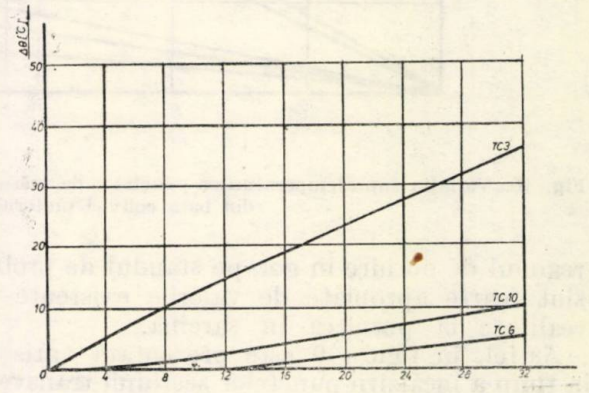


Fig. 8. Variația în timp a încălzirii inelului și a armăturii rotorice determinate în regim de rotor calat, pentru U_1 = 1,6 kV, [4].

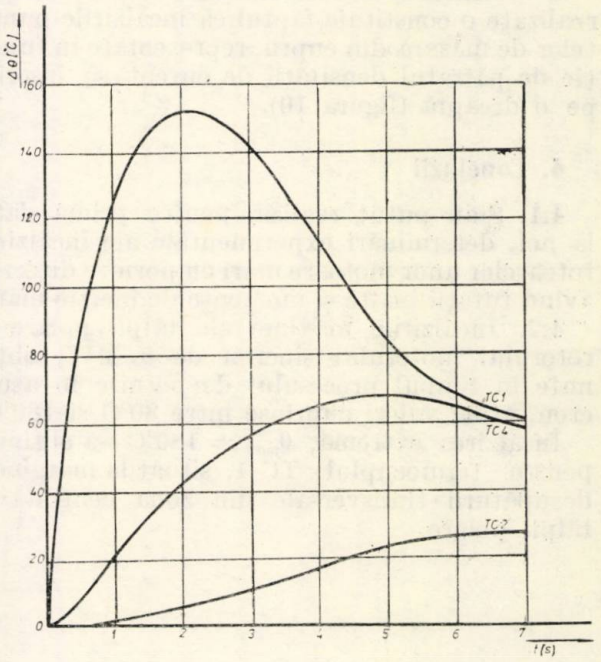


Fig. 9. Variația în timp a încălzirii secțiunii transversale a barei rotorice, la pornirea directă a motorului asincron la $U_N = 6$ kV.

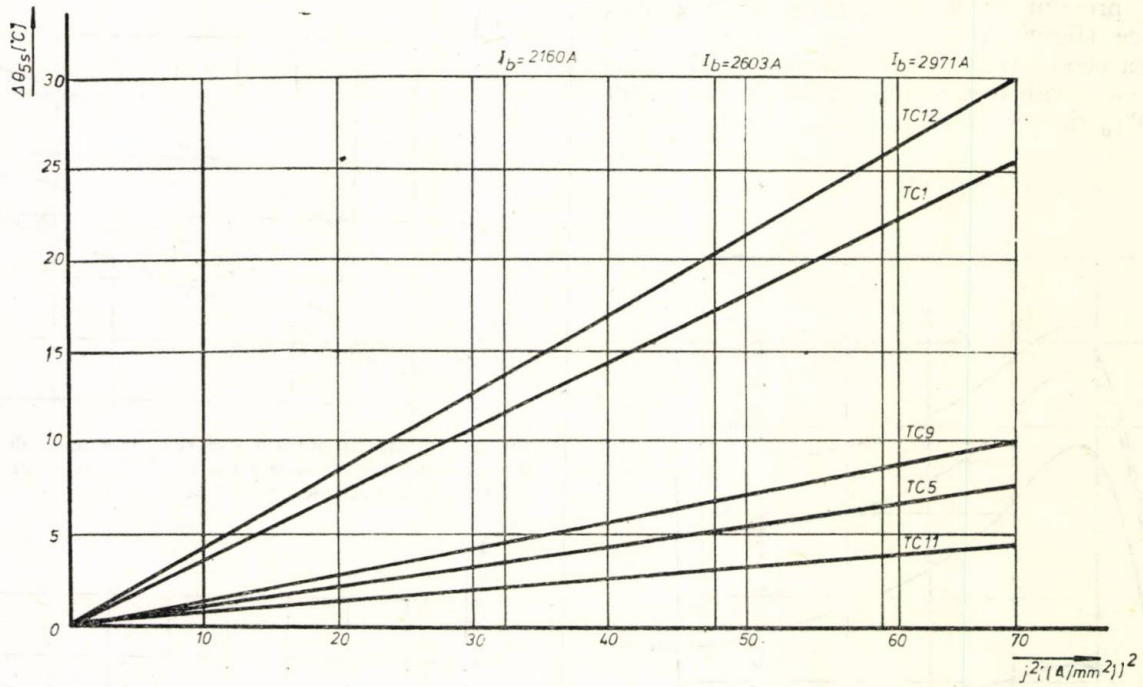


Fig. 10. Variația supratemperaturilor punctelor de măsură (la 5 secunde după conectare) cu pătratul densității de curent din bara coliviei motorului asincron în regim de rotor calat.

regimul de pornire în gol, pe standul de probă, sînt foarte apropiate de valorile existente în realitate la pornirea în sarcină.

Astfel, în figura 9 este prezentată variația în timp a încălzirii punctelor secțiunii transversale a barei rotorice pentru pornirea directă la tensiunea nominală de alimentare a mașinii $U_N = 6$ kV.

O verificare a corectitudinii măsurătorilor realizate o constituie faptul că încălzirile punctelor de măsură din cupru, reprezentate în funcție de pătratul densității de curent se înscriu pe o dreaptă (figura 10).

4. Concluzii

4.1. S-au putut realiza, pentru prima dată la noi, determinări experimentale ale încălzirii rotoarelor unor motoare mari cu pornire directă, avînd turații înalte și momente de inerție mari.

4.2. Încălzirile maxime ale tălpii polare a rotorului motorului sincron de 5 MW, obținute în timpul procesului de pornire în asincron, ating valori cuprinse între 80°C și 180°C.

Încălzirea extremă, $\theta_{max} = 180$°C s-a obținut pentru termocuplul TC 1, situat la marginea decupăturii transversale din zona centrală a tălpii polare.

4.3. Încălzirea maximă ($\theta_{max} = 147$°C) a motorului asincron de 3,8 MW studiat, s-a obținut la partea superioară a barei din crestătura rotorică a acestuia.

4.4. Valorile extreme ale încălzirilor rotorice determinate experimental pentru ambele mașini studiate s-au obținut, pentru oricare valoare utilizată a tensiunii de alimentare a statorului, cu puțin înainte de atingerea jumătății timpului de pornire a fiecărei mașini în parte.

4.5. Rezultatele experimentale obținute constituie o bază sigură de verificare pentru o metodologie de calcul al cîmpului de temperaturi în rotoarele motoarelor de curent alternativ cu refulare a curentului în regimul de pornire.

Bibliografie

[1] *Costina, D., Curiac, P., Popescu, D.* Determinarea experimentală a cîmului de temperaturi din rotorul unui turbogenerator. — E.E.A. — Electrotehnica 30, nr. 1, ian 1982.

[2] ASTM — STP 470 A Manual of the Use of Thermocuples in Temperature Mesurement. U.S.A.

[3] *Gurevici, E.* Teplovie ispitania i isledovania electriceskih mașin. Leningrad, Izd. Energhia, 1977.

[4] *Jerve, G. K.* Încercările mașinilor electrice rotative. — Trad. din l. rusă București Ed. tehnică, 1972.

CZ 621.314.6 : 621-8

Redresor comandat cu număr variabil de pulsuri

IOAN DÉSIRÉ SUCEVEANU * — BUCUREȘTI

Introducere

Redresoarele polifazate furnizează la ieșire o tensiune formată dintr-o componentă continuă și o sumă de armonici alternative, aflată în dependență directă de numărul de pulsuri al tensiunii redresate, care, la rîndul lui, depinde de numărul de faze al tensiunii de alimentare și de schema de redresare.

Majoritatea receptorilor alimentați de redresoare sînt deranjați de prezența armonicelor, cu atît mai mult cei alimentați în game largi de variație a tensiunii, deoarece în domeniul valorilor reduse ale fundamentalei tensiunii de ieșire amplitudinea armonicelor devine importantă în raport cu cea a fundamentalei.

Tensiunea de ieșire a redresoarelor este caracterizată, printre altele, de factorul de distorsiune și factorul de redresare. Factorul de distorsiune, definit ca raportul între valoarea efectivă a reziduului deformant și valoarea efectivă a tensiunii de ieșire, scade cu creșterea numărului de pulsuri deoarece ordinul armonicii de cea mai joasă frecvență este egal cu numărul de pulsuri, iar armonicele superioare succesive au toate ordinul multiplu de numere întregi al numărului de pulsuri. Factorul de redresare, definit ca raportul între valoarea medie a tensiunii redresate și valoarea de vîrf a tensiunii de alimentare, tinde spre valoarea unu, cînd numărul de pulsuri tinde spre infinit.

Soluțiile aplicate în prezent pentru mărirea numărului de pulsuri utilizează creșterea numărului de faze ale tensiunii din secundarul transformatorului de alimentare al redresorului și conectarea în serie, sau în paralel, a două redresoare trifazate în punte, fiecare din cele două redresoare fiind alimentate de la cîte un secundar separat al transformatorului. Aceste soluții impun o creștere importantă a numărului de tiristoare și prezența obligatorie a transformatorului de intrare cu conexiuni speciale ale înfășurărilor secundare pentru obținerea defazajelor necesare între tensiunile secundare. Primarul fiind comun, egalizarea tensiunilor secundare se poate face numai cu o aproximație ce depinde de numărul de spire pe volt în secundar.

Reglajul tensiunii de ieșire prin variația unghiului de aprindere a tiristoarelor redresorului se face, pentru game largi de variație a tensiunii, cu înrăutățirea accentuată a factorilor de distorsiune și de redresare cu scăderea amplitudinii tensiunii de ieșire, factorul de putere fiind cu atît mai mic, cu cît valoarea unghiului de aprindere este mai mare.

Valoarea capacității condensatoarelor din componența filtrelor de netezire de la ieșirea redresoarelor este cu atît mai mare cu cît mărimea amplitudinii pulsațiilor tensiunii redresate este mai mare.

Ca urmare a majorării importante a costului redresoarelor cu mărirea numărului de pulsuri, creșterea numărului de pulsuri este practic limitată la douăsprezece, cele mai răspîndite redresoare fiind cele cu șase pulsuri. De fapt, utilizarea a mai mult de șase pulsuri este relativ restrînsă ca urmare a complicațiilor ce apar în realizarea schemei de forță și a celei de comandă la care trebuie adăugată influența mai accentuată a impreciziei dispozitivelor de comandă.

În cele ce urmează se va prezenta un nou tip de redresor și anume redresorul cu număr variabil de pulsuri, denumit pe scurt în continuare redresor *VNP*, la care factorul de distorsiune este sensibil ameliorat pentru valorile mari ale unghiurilor de aprindere.

1. Redresorul *VNP* cu comutație naturală

Redresorul *VNP* are schema din figura 1 și este format din șase tiristoare și două diode într-o schemă în punte cu patru ramuri, alimentată de la rețeaua trifazată cu nul accesibil, ramura cu cele două diode fiind racordată la nulul rețelei.

Reglarea amplitudinii tensiunii redresate se obține prin modificarea unghiurilor de aprindere ale tiristoarelor $T1 - T6$, distingîndu-se trei domenii de funcționare.

Dacă se definește unghiul de aprindere α ca produsul între pulsație și timpul care trece din momentul în care tiristorul respectiv ar începe să conducă, dacă ar fi diodă, și pînă în momentul cînd i se aplică impulsul de comandă, se observă, din figura 2, că în domeniul *I*, pentru unghiuri de aprindere $0° \leqslant \alpha \leqslant 30°$, tensiunile de linie U_{RS}, U_{ST} și U_{TR} aplicate tiristoarelor $T1 - T6$ sînt pe toată durata conducției acestora mai mari decît tensiunile de fază U_{RO}, U_{SO} și U_{TO} aplicate diodelor $D1$ și $D2$, acestea din urmă, fiind, deci permanent blocate. Perechile de tiristoare $T1 - T6$, $T1 - T2$, $T3 - T2$, $T3 - T4$, $T5 - T4$, $T5 - T6$ conduc succesiv formînd cele șase pulsuri ale

* Ing. *Suceveanu, I. D.* — Inst. de inginerie tehnologică și proiectare pentru industria chimică — București.

tensinii redresate din fragmentele respective ale tensiunilor de linie. Fiecare tiristor este în conducţie 120° electrice, iar funcţionarea este identică cu a unui redresor trifazat în punte cu şase pulsuri, notat în continuare $RTP6$, alimentat de la tensiunile de linie ale reţelei.

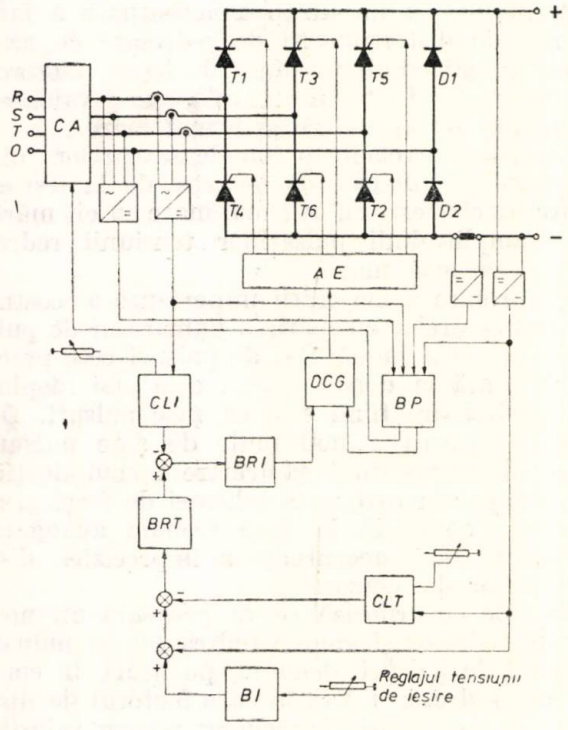


Fig. 1. Schema redresorului VNP.

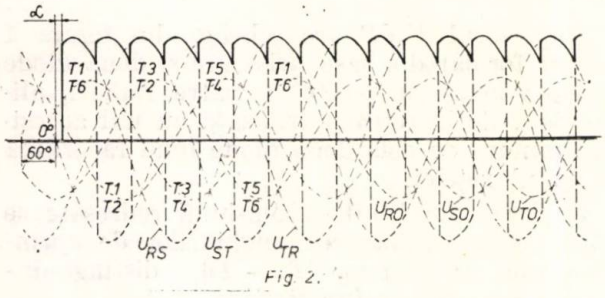


Fig. 2.

Fig. 2. Tensiunile de linie U_{KS}, U_{ST} şi U_{TR} aplicate tiristoarelor $T1-T6$ pe toată durata conducţiei lor.

La creşterea valorii unghiului de aprindere peste 30° redresorul VNP trece în domeniul 2 de funcţionare, caracterizat de conducţiile alternative ale unei perechi de tiristoare cu cele ale unei perechi tiristor-diodă. După cum se vede în figura 3, pentru intervalul $30° < \alpha < 90°$, dacă $T6$ este în conducţie şi pe poarta lui $T1$ se aplică impulsul de aprindere, $T1$ intră în conducţie şi împreună cu $T6$ furnizează la ieşirea redresorului VNP fragmentul AB al tensiunii de linie U_{RS}. În punctul B amplitudinile tensiunilor de linie U_{RS} şi de fază U_{RO} sînt egale, prima avînd tendinţa de scădere, iar a doua de creştere. În consecinţă, tiristorul $T6$ se blochează, curentul de sarcină fiind preluat de dioda $D2$, iar la ieşire se obţine fragmentul BC din tensiunea de fază U_{RO}. În punctul C este comandată aprinderea tiristorului $T2$ şi, datorită faptului că tensiunea de linie U_{RT} este mai mare decît U_{RO}, dioda $D2$ se blochează. Urmează blocarea lui $T1$ în punctul E şi intrarea în conducţie a diodei $D1$ împreună cu tiristorul $T2$ ş. a. m. d.

Forma de undă a tensiunii redresate este alcătuită din 12 pulsuri distincte, fiecărui puls corespunzîndu-i cîte o pereche de elemente semiconductoare şi anume: $T1-T6$, $T1-D2$, $T1-T2$, $D1-T2$, $T3-T2$, $T3-D2$, $T3-T4$, $D1-T4$, $T5-T4$, $T5-D2$, $T5-T6$, $D1-T6$. De fapt, alternează fragmente din tensiunile de linie cu fragmente din tensiunile de fază. Fiecare tiristor este în conducţie $(150-\alpha)°$, iar fiecare diodă conduce $(\alpha-40)°$.

Din figura 3 se observă că valoarea medie a tensiunii redreste pe o perioadă 2π este egală, de fapt, cu valoarea medie calculată pe durata $\pi/3$, corespunzătoare a două pulsuri succesive, primul impar şi al doilea par.

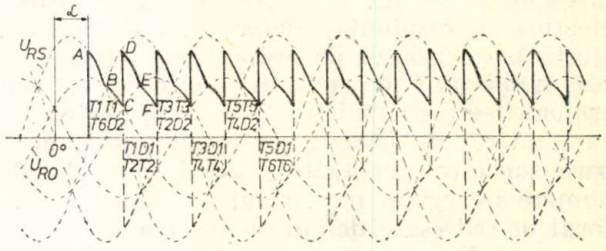


Fig. 3. Valoarea medie a tensiunii redresată pe o perioadă 2π.

Dacă se face analiza armonică Fourier a formei de undă a tensiunii redresate, se constată că pentru pulsurile impare, în care sînt în conducţie două tiristoare, se obţine:

$$V_{d1} = \frac{3\cdot\sqrt{3}}{\pi}\cdot\sqrt{2}\cdot U_L\left\{\cos\alpha + \right.$$

$$\left. + \sum_{n=1}^{\infty}\left[\frac{1}{(6n-1)^2} + \frac{1}{(6n+1)^2} - \frac{2\cos 2\alpha}{(6n-1)(6n+1)}\right]^{1/2}\cdot \right.$$

$$\sin.\,(6n\omega t + \nu_{6n}),$$

unde:

$V_{d1} = V_{d3} = V_{d5} = V_{d7} = V_{d9} = V_{d11}$ este tensiunea redresată în pulsurile impare: U_L — tensiunea de linie de alimentare: $\alpha \in (\alpha; 90°)$;

$$\nu_{6n} = -\frac{n\pi}{2} + \mathrm{tg}^{-1}\frac{\dfrac{\cos(6n+1)\alpha}{6n+1} - \dfrac{\cos(6n-1)\alpha}{6n-1}}{\dfrac{\sin(6n+1)\alpha}{6n+1} - \dfrac{\sin(6n-1)\alpha}{6n-1}}.$$

Pentru pulsurile pare, în care conduc perechile tiristoare — diodă, valoarea tensiunii redresate este dată de relația de mai jos, în care tensiunea redresată, obținută din tensiunea de fază s-a exprimat în funcție de tensiunea de linie, între tensiunile de linie U_L și cele de fază U_F existînd relația binecunoscută $U_F = U_L/\sqrt{3}$:

$$V_{d2} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi}\cdot\sqrt{2}\,\frac{U_L}{\sqrt{3}}\left\{\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{6}\right)+\right.$$

$$+\sum_{n=1}^{\infty}\left[\frac{1}{(6n-1)^2}+\frac{1}{(6n+1)^2}-\right.$$

$$\left.\left.-\frac{2\cos 2(\alpha+\pi/6)}{(6n-1)(6n+1)}\right]^{1/2}\cdot\sin(6n\omega t+\nu_{6n}),\right.$$

unde:

$V_{d2} = V_{d4} = V_{d6} = V_{d8} = V_{d10} = V_{d12}$ reprezintă tensiunea redresată în pulsuri pare;

$$\alpha\in[90^\circ;\ \alpha+\pi/3);$$

$$\nu_{6n} = -\frac{n\pi}{2}+$$

$$+\operatorname{tg}^{-1}\frac{\dfrac{\cos(6n+1)(\alpha+\pi/6)}{6n+1}-\dfrac{\cos(6n-1)(\alpha+\pi/6)}{6n-1}}{\dfrac{\sin(6n+1)(\alpha+\pi/6)}{6n+1}-\dfrac{\sin(6n-1)(\alpha+\pi/6)}{6n-1}}.$$

Este evident că, deși tensiunea de ieșire conține toate armonicile de ordinul 6 și multiplu de 6, în pulsurile pare toate aceste armonici sînt diminuate cu $\sqrt{3}$ și cu creșterea lui α, deci cu scăderea tensiunii redresate, ponderea tensiunilor V_{d2} crește în raport cu cea a tensiunilor V_{d1}. Prin urmare, pe tot intervalul domeniului *2* se obține o diminuare medie a factorului de distorsiune cu 21,5% în comparație cu redresorul trifazat în punte cu 6 pulsuri. Comparînd redresorul *VNP* cu redresorul *RTP6* se constată că, pentru aceleași valori ale tensiunii redresate U_d și în intervalul de tensiuni de ieșire $(0{,}89 \div 0{,}3)\ U_d/U_{dmax}$, corespunzător domeniului *2* de funcționare a redresorului *VNP*, factorul de distorsiune are valori cuprinse între 0,2 ÷ 0,5 pentru redresorul *VNP* față de 0,2 ÷ 0,7, cît se obține în cazul lui *RTP6*. Trebuie menționat faptul că factorul de distorsiune variază mai mult numai la extremele intervalului, de fapt menținîndu-se între valorile 0,3 ÷ 0,4 pe circa 60% din domeniu, față de o variație cuprinsă între 0,35 ÷ 0,65 în cazul redresorului *RTP6*.

Domeniul *3* de funcționare, corespunzător amplitudinilor mici ale tensiunii de ieșire, respectiv pentru $(0{,}3 \div 0)\ U_d/U_{dmax}$, este caracterizat de valori ale unghiului de aprindere cuprinse între $90^\circ \leqslant \alpha \leqslant 150^\circ$. Acum amplitudinea tensiunilor de fază U_{RO}, U_{SO}, U_{TO} este mai mare decît a tensiunilor de linie pe toată durata de conducție a tiristoarelor. În punctul *A* din figura 4, tensiunea U_{RS} face ca perechea $T1-D2$ să preia curentul de sarcină, iar *T6* să fie blocat. În punctul *B* se deschide *T2*, conduce perechea $D1-T2$ și *T1* se stinge. Urmează succesiv conducția perechilor $T3-D2$, $D1-T4$, $T5-D2$, $D1-T6$. Fiecare tiristor conduce cîte $(150-\alpha)^\circ$, iar fiecare diodă conduce de trei ori cîte $(150-\alpha)^\circ$ într-o perioadă. Tensiunea redresată are din nou șase pulsuri formate din fragmente ale tensiunilor de fază care au amplitudinea maximă mai mică cu $\sqrt{3}$ decît a tensiunilor de linie și, prin urmare, factorul de redresare crește cu $\sqrt{3}$ în cazul redresorului *VNP*. Diminuarea medie a factorului de distorsiune pe tot intervalul domeniului 3 este de 11% față de redresorul *RTP6* deoarece valorile maxime și medii ale tuturor armonicelor se diminuează cu $\sqrt{3}$.

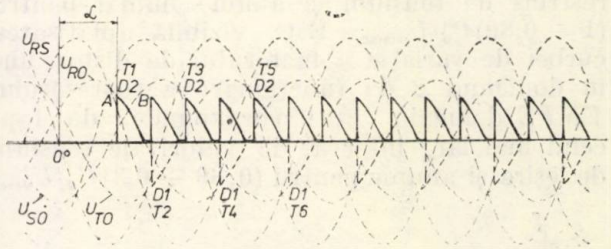


Fig. 4. Tensiunea redresată U_{RS}.

Reducerea procentuală a amplitudinilor primelor două armonici, în cazul redresorului *VNP*, față de *RTP6* este prezentată în tabelul 1. Pentru exemplificare este prezentată în figura 5 variația valorii medii a armonicii de ordinul 6 cu valoarea tensiunii redresate U_d la ieșirea *RTP6*, curba *1*, precum și la ieșirea redresorului *VNP*, curbele *2* și *3*, corespunzătoare domeniilor *2* și *3* de funcționare.

Tabelul 1

Armonica		Reducerea procentuală, %	
Ordin	Frecvența, Hz	Domeniul 2	Domeniul 3
6	300	28,19	39,12
12	600	30,43	25,11
18	900	31,41	21,06
24	1 200	31,87	23,55
30	1 500	32,81	30,82
36	1 800	32,61	26,83
42	2 100	32,68	25,88
48	2 400	37,76	23,89
54	2 700	32,81	29,91

Variația factorului de distorsiune δ cu valoarea relativă a tensiunii redresate U_d/U_{dmax} este prezentată în figura 6, în care curba *1* cores-

punde redresorului *RTP6*, iar curbele *2* și *3* redresorului *VNP* în domeniile *2* și *3* de funcționare. Evident, în domeniul *1* de funcționare, nu există nici o diferență între cele două redresoare, dar acest domeniu corespunde unui interval

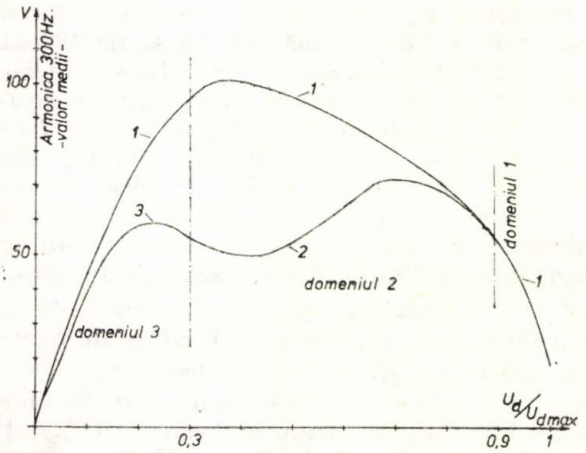


Fig. 5. Variația valorii medii a armonicii de ordinul 6 cu valoarea tensiunii redresate U_d.

restrîns de tensiuni și anume numai pentru $(1 \div 0{,}89)\,U_d/U_{dmax}$. Este vizibilă aplatisarea curbei de variație a factorului de distorsiune în domeniul *2* de funcționare a redresorului *VNP*, domeniu care corespunde de fapt celui mai larg interval de valori ale tensiuni de ieșire și anume pentru $(0{,}89 \div 0{,}3)\,U_d/U_{dmax}$

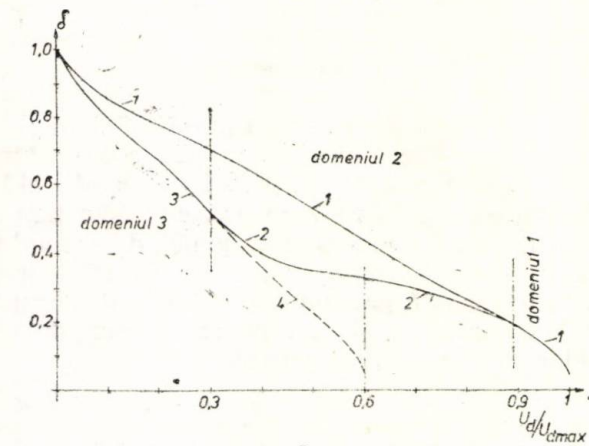


Fig. 6. Variația factorului de distorsiune δ cu valoarea relativă a tensiuni redresate U_d/U_{dmax}.

Trecerea de la un domeniu de funcționare la altul se face prin simpla modificare a unghiului de aprindere, redresorul *VNP* funcționînd cu comutație naturală, iar schema sa de comandă fiind practic aceeași cu a redresorului *RTP6*, așa cum se vede în exemplul din figura 1.

Blocul integrator *BI* produce, la ieșirea sa, o tensiune proporțională cu valoarea reglată potențiometric a tensiunii de ieșire. Tensiunea de la ieșirea *BI* este comparată intîi cu mărimea de reacție a tensiunii redresate, apoi cu tensiunea de la ieșirea circuitului *CLT* de limitare a tensiunii redresate minime și se aplică blocului regulator al tensiunii *BRT*. Semnalul de la ieșirea *BRT* este comparat cu cel furnizat de circuitul *CLI* de limitare a curentului absorbit maxim admisibil și se aplică blocului regulator al curentului *BRI*. Dispozitivul de comandă pe grilă *DCG* primește semnalul de la ieșirea *BRI* și produce impulsurile de aprindere care sînt distribuite celor șase porți ale tiristoarelor $T1 - T6$ prin intermediul amplificatorului *AE*. Schema cuprinde și un bloc de protecție *BP* care blochează impulsurile de aprindere generate de *DCG* și poate comanda declanșarea circuitelor de alimentare *CA* la depășirea valorilor maxime admise pentru curenții de intrare și ieșire, scăderea tensiunii de ieșire sub valoarea minimă admisă în condiții de suprasarcină, la arderea siguranțelor, la creșterea temperaturii, scurtcircuite etc.

Față de cele de mai sus, în comparație cu redresoarele trifazate în punte cu șase pulsuri, redresoarele *VNP* permit minimizarea amplitudinii armonicelor din tensiunea de ieșire ca urmare a unui factor de distorsiune redus și a unui factor de redresare mărit. Ca o consecință imediată, filtrele de netezire de la ieșirea redresorului vor necesita componente cu valori mai mici, deci mai ieftine. De asemenea, se obține și o micșorare a consumului de energie reactivă ca urmare a creșterii factorului de redresare, în special în domeniul *3* de funcționare.

Prezența diodelor *D1* și *D2* în cea de a patra ramură a punții redresorului *VNP* descris mai înainte, permite funcționarea acestuia numai într-un singur cadran, deci transferul de energie se poate face numai dinspre partea de curent alternativ spre partea de curent continuu. Pentru a permite funcționarea în două cadrane, deci și transferul de energie dinspre partea de curent continuu spre partea de curent alternativ, în schema din figura 1 cele două diode trebuie înlocuite cu tiristoarele *T7* și *T8* ca în figura 7. Redresorul *VNP* de două cadrane, deci care poate funcționa și ca invertor, va avea aceleași trei domenii de funcționare ca și redresorul *VNP* de un singur cadran.

Dacă se notează cu α_L unghiul de aprindere al tiristoarelor $T1 - T6$ și cu α_F unghiul de aprindere al tiristoarelor $T7 \div T8$ și se menține aceeași origine de măsură ca și în cazul precedent, atunci $\alpha_F \leqslant 90°$ iar $0° \leqslant \alpha_F \leqslant 150°$ și funcționarea redresorului *VNP* va trece succesiv prin cele trei domenii, forma de undă a tensiunii redresate fiind identică cu cea din figurile 2, 3 și 4. În schema de comandă se modifică numai dispozitivul de comandă pe grilă la care trebuie adăugat circuitul de generare a impulsurilor de aprindere a tiristoarelor *T7* și *T8* cu un unghi de aprindere α_F constant. La trecerea în regim de invertor, tiristoarele *T7* și *T8* sînt blocate.

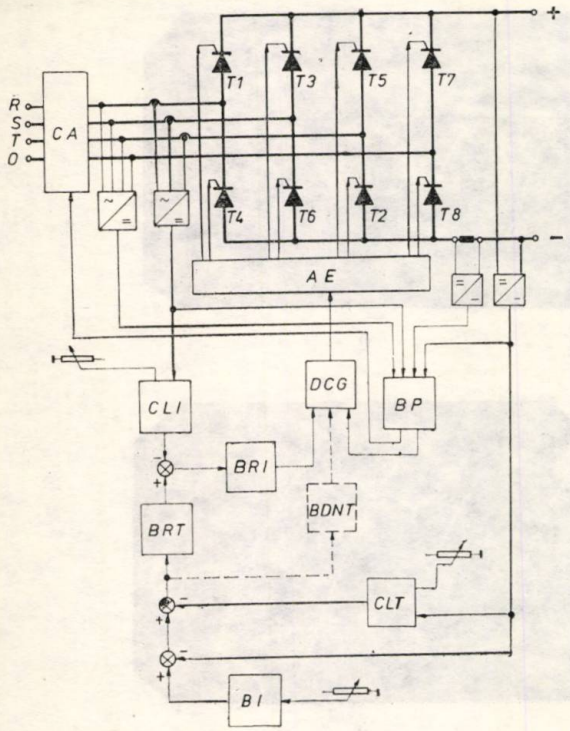


Fig. 7. Redresorul VNP de două cadrane.

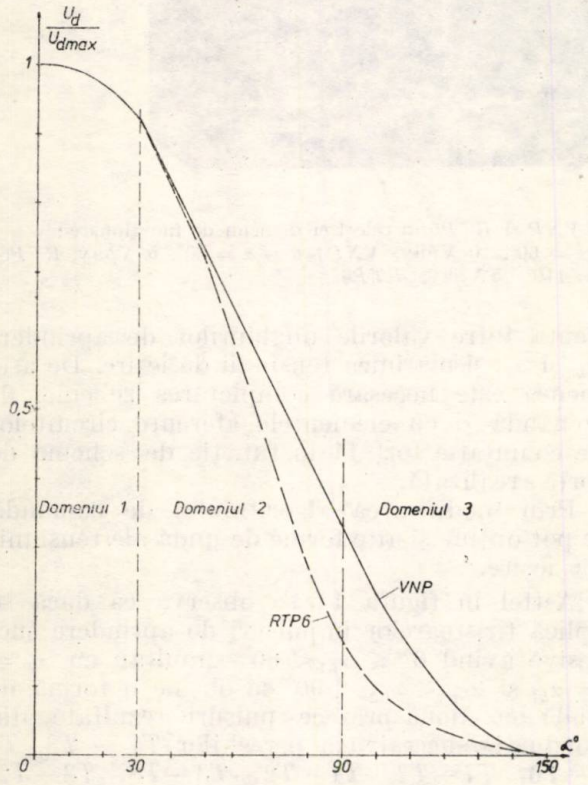


Fig. 8. Curbele tensiunii de ieşire $U_d/U_{dmax} = f(\alpha)$ pentru redresoarele *RTP6* şi *VNP*.

Datele experimentale obţinute cu un redresor *VNP* cu schema din figura 1 au confirmat datele rezultate din simularea pe calculator a funcţionării acestuia. În figura 8 sînt prezentate comparativ curbele tensiunii de ieşire $U_d/U_{dmax} = f(\alpha)$ pentru cele două redresoare *RTP6* şi *VNP*. Se observă că tensiunea de la ieşirea redresorului *VNP* are o dependenţă aproape liniară de valoarea unghiului de comandă într-un interval mult mai larg de tensiuni de ieşire şi anume $(0{,}89 \div 0{,}23)\ U_d/U_{dmax}$ faţă de circa $(0{,}7 \div 0{,}3)\ U_d/U_{dmax}$ în cazul redresorului *RTP6*.

În figura 9 sînt prezentate fotografiile formelor de undă ale tensiunii de ieşire a redresoarelor *VNP* şi *RTP6* în cele trei domenii de funcţionare. Se observă în figurile 9a şi 9b identitatea formelor de undă în domeniul 1 de funcţionare şi apoi diferenţierea acestora în figurile 9c şi 9d, respectiv 9e şi 9*f* în domeniile *2* şi *3*. Este vizibilă în cazul redresorului *VNP* alcătuirea formei de undă a tensiunii de ieşire din fragmente succesive de tensiuni de linie şi de fază. Oscilografierea formelor de undă s-a făcut cu sarcină rezistivă.

Analiza experimentală comparativă a spectrelor tensiunii de ieşire, obţinută de la redresoarele *VNP* şi *RTP6* a confirmat, de asemenea, datele teoretice. În figura 10 sînt prezentate curbele de atenuare a valorilor maxime ale armonicelor de ordinul $6n$ pentru $n = 1 \div 8$ obţinute experimental, în care V_{RTP6} şi V_{VNP} sînt valorile maxime ale armonicelor de acelaşi ordin la aceeaşi valoare a tensiunii de ieşire. Este vizibilă creşterea accentuată a atenuării armonicelor cu scăderea valorii tensiunii de la ieşirea redresorului *VNP* faţă de *RTP6*.

2. Redresoare cu comutaţie forţată

Redresoarele *VNP* cu comutaţie forţată vor avea schema de forţă din figura 7 la care trebuie adăugate circuitele de comutaţie aferente tiristoarelor principale $T1 \div T8$.

Într-un prim exemplu, se poate păstra algoritmul de comandă din cazul anterior şi se vor obţine tot trei domenii de funcţionare. Primul domeniu este identic cu domeniul *1* anterior ($0° \leqslant \alpha_L \leqslant 30°$ şi $T1$ şi $T8$ blocate) avînd intervalul tensiunii de ieşire cuprins între $(1 \div 0{,}89)\ U_d/U_{dmax}$. Comutaţia forţată ne permite restrîngerea domeniului 2 la valorile $30° < \alpha_L < 60°$ şi $\alpha_F = 90° = \text{constant}$, corespunzător intervalului tensiunilor redresate $(0{,}89 \div 0{,}6)\ U_d/U_{dmax}$. În acest mod, domeniul *3* se extinde în intervalul $(0{,}6 \div 0)\ U_d/U_{dmax}$ pentru care $\alpha_L = \alpha_F$ şi $60° \leqslant \alpha_F \leqslant 150°$.

Principalele consecinţe sînt reducerea accentuată a factorului de distorsiune şi micşorarea consumului de energie reactivă în intervalul $(0{,}6 \div 0{,}3)\ U_d/U_{dmax}$.

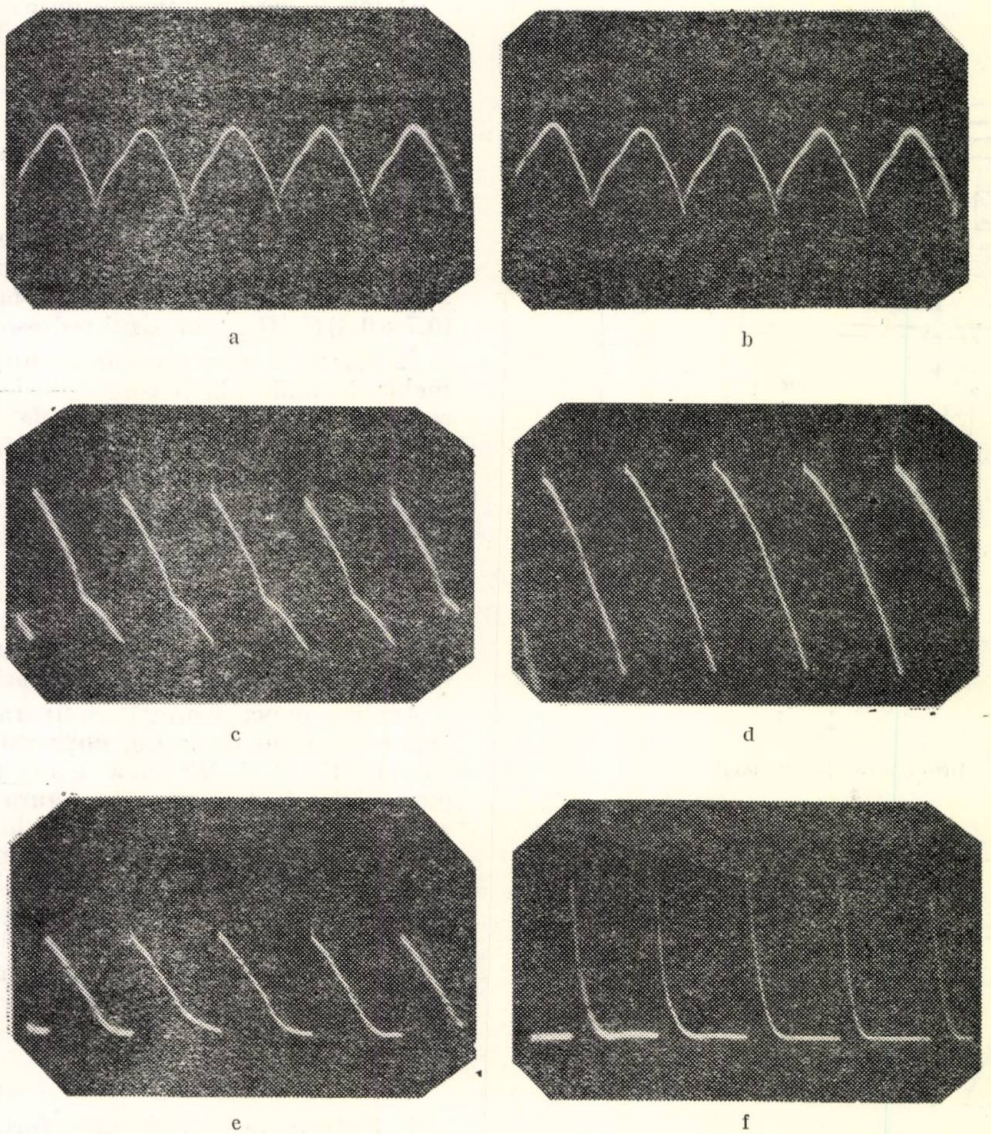


Fig. 9. Formele de undă ale tensiunii de ieșire a redresoarelor *VNP* și *RTP*6 în cele trei domenii de funcționare : a — $\alpha = 10°$, 10 V/div *VNP*; b — $\alpha = 10°$, 10 V/div, *RTP*6 ; c — $\alpha = 60°$, 10 V/div, *VNP*; d — $\alpha = 60°$, 5 V/div, *RTP*6 ; e = 110°, 5V/div, *VNP*; f — $\alpha = 110° \cdot 5$ V/div, *RTP*6.

Factorul de distorsiune variază cu tensiunea de ieșire în acest interval după curba *4* desenată cu linie întreruptă în figura 6. Se observă că spre deosebire de cazul anterior, factorul de distorsiune variază între limitele 0,05 ÷ 0,5 în loc de 0,35 ÷ 0,5.

După cum este cunoscut, puterea reactivă depinde direct de defazajul undei fundamentale a curentului față de tensiunea corespunzător unghiului de aprindere α și, prin urmare, la extinderea domeniului *3*, ca mai sus, are loc o micșorare apreciabilă a consumului de energie reactivă.

Schema de comandă a redresorului *VNP* cu comutație forțată trebuie completată cu un bloc *BDNT* de detectare a nivelului de tensiune de ieșire, desenat cu linie întreruptă în figura 7. Acest bloc impune *DCG* corespondența între valorile unghiurilor de aprindere α_L și α_F și mărimea tensiunii de ieșire. De asemenea este necesară completarea schemei de comandă și cu elementele aferente circuitelor de comutație forțată în funcție de schema de forță realizată.

Prin modificarea algoritmului de comandă se pot obține și alte forme de undă ale tensiunii de ieșire.

Astfel în figura 11 se observă că dacă se aplică tiristoarelor impulsuri de aprindere succesive având $0° \leqslant \alpha_{L1} < 60°$ simultan cu $\alpha_F = \alpha_{L1}$ și $\alpha_{L1} < \alpha_{L2} < 90°$ se obține o formă de undă cu douăsprezece pulsuri rezultată din conducția succesivă a perechilor *T*1 — *T*8, *T*1 — *T*6, *T*7 — *T*2, *T*1 — *T*2, *T*3 — *T*8, *T*3 — *T*2, *T*7 — *T*4, *T*5 — *T*8, *T*5 — *T*4, *T*7 — *T*6, *T*5 — — *T*6. Tiristoarele *T*1 ÷ *T*6 au fiecare două

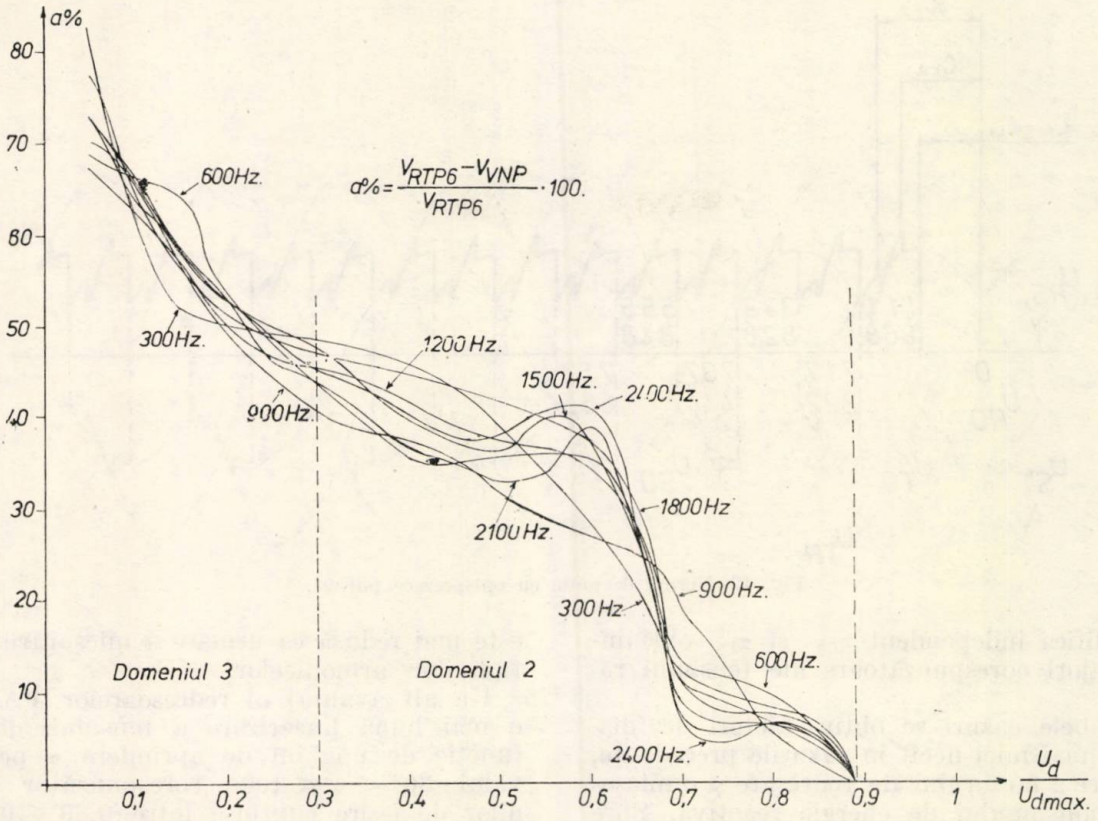


Fig. 10. Curbele de atenuare a valorilor maxime ale armonicelor de ordinul $6n$, pentru $n = 1 \div 8$, obținute experimental.

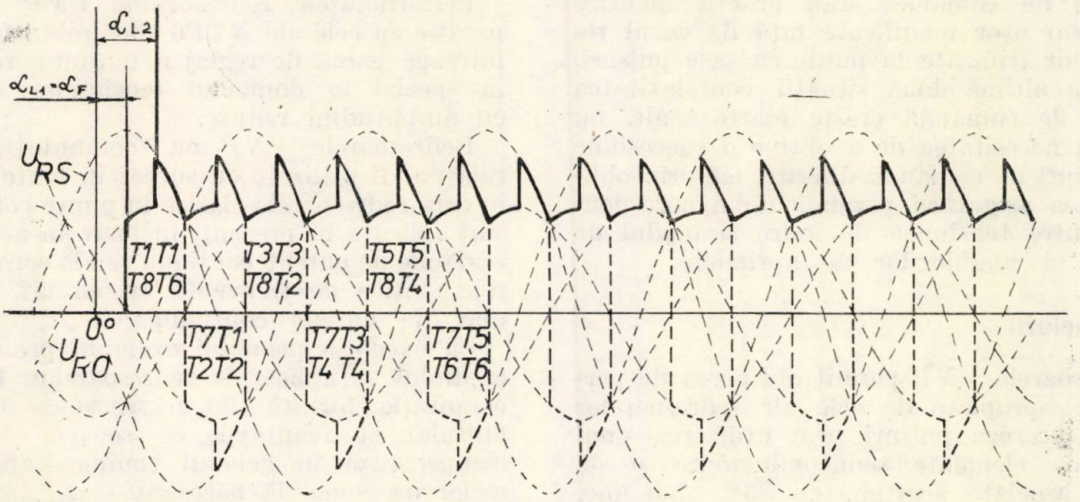


Fig. 11. Forma de undă rezultată din conducția succesivă a perechilor de tiristoare $T1$-$T8$, $T1$-$T6$, $T7$-$T2$, $T1$-$T2$, $T3$-$T8$, $T3$-$T2$, $T7$-$T4$, $T5-T8$, $T5$-$T4$, $T7$-$T6$, $T5$-$T6$.

intervale de conducție într-o perioadă și anume 60° și $(150-\alpha_{L2})°$, iar tiristoarele $T7$ și $T8$ conduc fiecare de trei ori într-o perioadă cîte $(90-\alpha_F)°$. Pentru fiecare valoarea a lui α_{L1} se poate varia α_{L2} în domeniul $(\alpha_{L1}\ ; 90°)$ cu modificarea corespunzătoare a tensiunii de ieșire.

Se poate obține și o formă de undă cu optsprezece pulsuri ca în figura 12. În acest caz se aplică tiristoarelor impulsuri de aprindere succesive avînd $30° < \alpha_{F1} < 90°$ simultan cu $\alpha_{F1} = \alpha_{L1}$, apoi $\alpha_{F1} < \alpha_{L2} < 90°$ și în sfîrșit $90° \leqslant \alpha_{F2} \leqslant \alpha_{F1} + \pi/3$. Prin urmare vor conduce succesiv perechile $T1-T8$, $T1-T6$, $T1-T8$, $T7-T2$, $T1-T2$, $T7-T2$, $T3-T8$, $T3-T2$, $T3-T8$ ș.a.m.d. Tiristoarele $T1 \div T6$ conduc fiecare de două ori într-o perioadă, prima dată 60° și apoi $(\alpha_{F2} - \alpha_{L2})°$, iar tiristoarele $T7$ și $T8$ conduc fiecare de șase ori într-o perioadă, de trei ori cîte $(\alpha_{L2} - \alpha_{L1})°$ și de trei ori cîte $(120-\alpha_{F2})°$. Ca și în cazul precedent pentru fiecare valoare a α_{F1} -- α_{L1} se

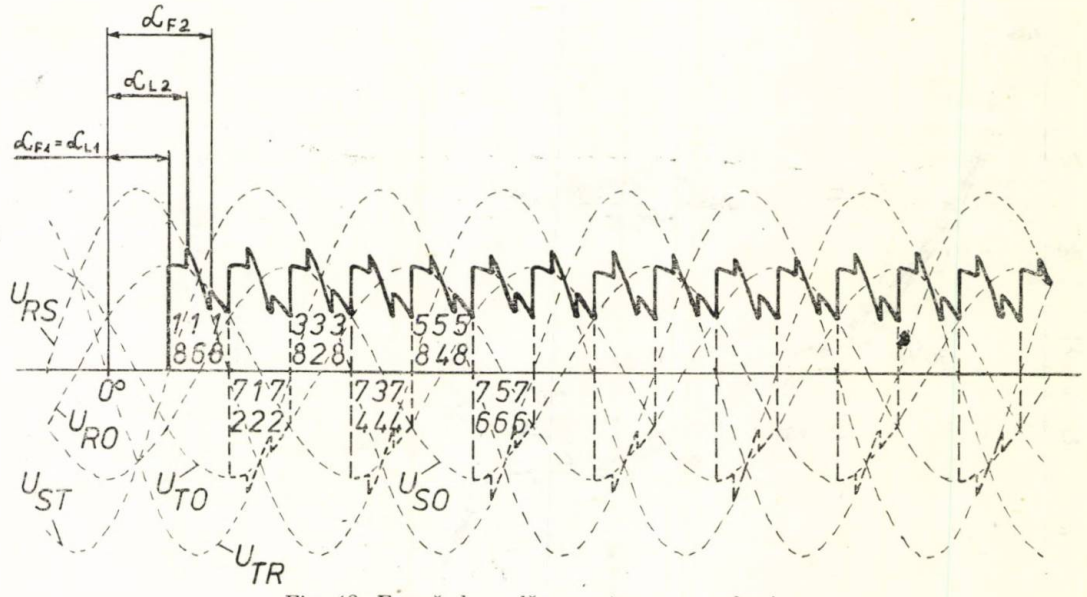


Fig. 12. Formă de undă cu optsprezece pulsuri.

pot modifica independent α_{L2} și α_{F2} obținîndu-se valori corespunzătoare ale tensiunii redresate.

În ambele cazuri se obțin factori de distorsiune mai mici decît în cazurile precedente, o creștere a factorului de redresare și o micșorare a consumului de energie reactivă. Spre deosebire însă de cazurile precedente, cînd schemele de comandă erau practic identice sau numai ușor modificate față de cazul redresoarelor trifazate în punte cu șase pulsuri, în aceste ultime două situații complexitatea schemei de comandă crește foarte mult, nu atît prin necesitatea de a obține o succesiune de unghiuri de comandă diferite, cît prin obligativitatea asigurării permanente a corespondenței între tensiunea de ieșire și modul de variație al unghiurilor de aprindere.

3. Concluzii

Redresoarele *VNP* permit obținerea de performanțe apropiate de cele ale redresoarelor cu douăsprezece pulsuri prin utilizarea unui număr de elemente semiconductoare și de circuite asociate acestora cu 33% mai mic, eliminînd în același timp transformatorul dodecafazat de alimentare a redresorului. Se poate obiecta că cele două elemente semiconductoare suplimentare (diodele D_1 și D_2 sau tiristoarele $T7$ și $T8$) sînt mai slab utilizate decît cele șase tiristoare suplimentare ale redresorului cu douăsprezece pulsuri, dar trebuie evidențiat faptul că includerea lor în schema redresorului *VNP* aduce avantaje practic echivalente cu acelea date de cele șase tiristoare și în plus sînt mult mai ieftine.

Capacitatea condensatoarelor din componența filtrelor de la ieșirea redresoarelor *VNP* este mai redusă ca urmare a micșorării amplitudinilor armonicelor.

Un alt avantaj al redresoarelor *VNP* este o mai bună linearizare a tensiunii de ieșire funcție de unghiul de aprindere α pe intervalul $30° < \alpha < 100°$, corespunzător tensiunilor de ieșire cuprinse între $(0{,}89 \div 0{,}23)U_d/U_{dmax}$.

Performanțele redresorului *VNP* în comparație cu cele ale *RTP*6 sînt îmbunătățite pe întreaga gamă de reglaj a tensiunii redresate, în special în domeniul tensiunilor redresate cu amplitudini reduse.

Redresoarele *VNP* cu comuntație naturală pot fi utilizate cu succes în toate cazurile în care redresoarele clasice în punte comandată sînt aplicate în prezent, inclusiv în acționările reglabile de curent continuu sau la convertizoarele statice de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu.

Cu excepția primului exemplu prezentat în capitolul 2, aplicațiile redresoarelor *VNP* cu comutație, forțată sînt restrînse ca urmare a faptului că avantajele ce se pot obține nu compensează în general complexitatea schemelor de comandă necesare.

Bibliografie

[1] *Suceveanu, I. D.* Redresor comandat cu număr variabil de pulsuri. Brevet OSIM nr. 83111/1983.

[2] *Suceveanu I.D.* Studii privind perfecționarea și extinderea posibilităților de reglare a vitezei sistemelor de acționare cu motoare asincrone. Teză de doctorat, Institutul politehnic Iași, 1985.

[3] *Pelly, B. R.* Thyristor Phase-Controlled, Converters and Cycloconverters, Ed. John Willey, New York, 1971.

[4] *Bedford, B. D.*, Hoft, R.G. Principles of Inverter Circuit Ed. John Willey, SUA, 1966.

[5] *Diaconescu, M., Graur, I.* Mutatoare-baze teoretice și elemente de proiectare. Institutul politehnic Iași, lito. 1978.

CZ 621.316.047

APARATE DE COMUTAȚIE ÎN VID

Dispozitiv de acționare rapidă a instalației de încercare a contactelor aparatelor de comutație în vid

DAN PAVELESCU * — BUCUREȘTI

În ultimii ani se observă o utilizare pe scară tot mai largă a aparatelor de comutație care folosesc camere de stingere în vid. Aceste aparate oferă avantaje deosebite în ce privește fiabilitatea în exploatare, durata de viață foarte mare, timpii de deconectare foarte reduși și capacitatea de deconectare ridicată, în cazul întreruptoarelor de putere [1]. Eliminînd folosirea metalelor prețioase, aceste aparate au mase și gabarite cu mult mai mici, în comparație cu soluțiile clasice de aceiași parametri nominali. De asemenea, comutația în vid poate fi folosită cu succes în mediile agresive sau cu pericol de explozie și incendiu.

În prezent, aparatele cu comutație în vid se construiesc sub formă de contactoare și întreruptoare de putere, care acoperă domeniile de joasă și medie tensiune. În figura 1 se prezintă [2] situația actuală în acest domeniu.

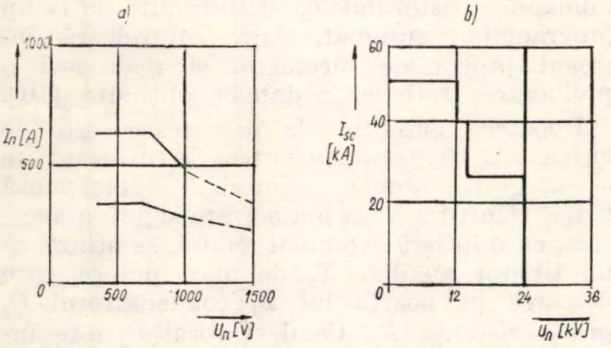


Fig. 1. Domeniul actual de utilizare a comutației în vid

Astfel, în figura 1 a se poate urmări repartiția parametrilor nominali ai contactoarelor în vid, pentru regimul AC_3. Se observă că acestea acoperă întreaga zonă de tensiuni nominale U_n, cuprinse între 220 V și 1 000 V, cu posibilități de extindere pînă la 1 500 V. De asemenea, curenții nominali I_n sînt comparabili cu cei ai contractoarelor clasice. Figura 1b indică orientativ capacitatea de deconectare I_{sc} a întrerupătoarelor de putere cu vid, pentru tensiuni nominale pînă la 36 kV. De remarcat este faptul că întreruptoarele de medie tensiune în vid pot realiza parametri de deconectare la scurtcircuit mult superiori aparatelor similare (cu stingere la presiune atmosferică sau cu ulei puțin). După cum se arată în literatură [3,4], tendința este ca acestea să ocupe în viitorul apropiat întreaga gamă de aparate de comutație, inclusiv domeniul înaltei tensiuni.

Aparatele cu camere de stingere în vid se construiesc pe baza unor tehnologii avansate, atît în domeniul vidului ultraînalt, cît și al contactelor utilizate. Presiunile în camerele de stingere cu vid sînt cuprinse între 10^{-8} și 10^{-11} bar și trebuie să se mențină la un nivel corespunzător pe o durată de circa 10 ani. Acest lucru implică folosirea unor materiale speciale și a unei tehnologii specifice de închidere a camerei de stingere [10].

Un aspect deosebit de important în realizarea unui contactor sau întreruptor în vid îl constituie contactele acestuia, pentru care se impun condiții de funcționare ce nu pot fi îndeplinite de un singur material. Principala problemă se referă la modul de evoluție a arcului electric de comutație, pentru o anumită formă și structură a pieselor de contact. În cazul aparatelor în vid, arcul electric apare sub forma unei plasme de vapori metalici [1], degajați de piesele de contact. Există tendința ca suportul material al coloanei arcului electric să dispară rapid în timp, din cauza difuziei și a condensării vaporilor metalici pe pereții camerei de stingere. Din acest motiv aparatele în vid au tendința de a produce supratensiuni de comutație importante, datorită întreruperii curentului înainte de trecerea sa naturală prin zero, fenomen cunoscut sub denumirea de „smulgere de curent". Valoarea supratensiunii produse depinde în mod direct de mărimea curentului smuls care, pentru un anumit curent întrerupt, este propriu aparatului respectiv. Astfel, valoarea curentului smuls constituie un criteriu de calitate pentru aparatul de comutație în cauză, constructorii străduindu-se să realizeze modele care să deconecteze cu curent smuls cît mai redus. Pentru aceasta, piesele de contact utilizate în prezent folosesc geometrii specifice și inserții de metale cu tensiune de vapori redusă, sub forma unor inele plasate în nuturi practicate în piesa suport. Acestea au rolul de a împiedica întreruperea prematură a curentului și a aduce acest moment cît mai aproape de trecerea sa naturală prin zero, printr-o vaporizare suplimentară a materialului din nut, sub acțiunea arcului electric de comutație.

Pentru optimizarea acestui proces este necesar să se execute un volum important de ex-

* Dr. ing. *Pavelescu*, D. — Catedra de măsuri și aparate electrice din I. P. B.

perimentări, utilizînd instalații specifice de încercare. Acestea trebuie să permită găsirea combinației optime de contacte, prin comutarea acestora sub vid în condiții ce simulează procesele de deconectare reale. De asemenea, ele servesc la operația de „formare" a contactelor, operație prin care piesele de contact sînt supuse acțiunii unui arc electric, rezultat la deschiderea acestora, simultan cu injectarea unui curent intens prin combinația de contacte utilizată. Ca umare, se impune ca cinematica pieselor de contact să permită deschiderea rapidă și sincronă a acestora, în cadrul proceselor descrise anterior. În literatură [5, 6] sînt prezentate astfel de instalații de studiere și optimizare a contactelor în vid. Acestea utilizează pentru deplasarea contactelor, de regulă, un motor pneumatic combinat cu un sistem de indexare a elementelor mobile, prevăzute cu comandă electrică, asigurată de un programator automat. Sistemul de indexare trebuie să aibă timpi proprii de acționare cît mai reduși, pentru a permite o bună sincronizare a deplasării contactelor cu fenomenele electrice rapide din instalația de încercare.

Realizări experimentale

În cadrul Catedrei de măsuri și aparate electrice din Institutul politehnic-București, a fost proiectată și executată o instalație de încercat contacte electrice în vid, a cărei schemă cinematică este prevăzută cu sistem de indexare construit pe baza unui dispozitiv cu repulsie electrodinamică tip Thomson, [7, 8]. Acesta se compune, în principal, dintr-un disc conductor aflat în imediata apropiere a unei bobine plate, parcurse de curent intens, aflat în regim tranzistoriu rapid. Datorită interacțiunii dintre curentul din bobină și cei induși în disc, rezultă o forță de respingere între cele două elemente ce poate ajunge la 10^4 —10^5 N. Ca urmare, discul va suferi o accelerație axială de valoare ridicată, acest dispozitiv fiind utilizat în schemele cinematice cu acționare ultrarapidă. Dispozitivul utilizat și schema electronică aferentă sînt prezentate în figura 2. Pe aceasta se observă dispozitivul cu repulsie electrodinamică *DED*, compus din discul profilat D_s și bobina L, care pentru a avea o rezistență mecanică corespunzătoare este înglobată în rășină epoxidică. Aceasta se realizează cu ajutorul unei matrițe [9] care permite realizarea izolației frontale a bobinei în raport cu discul conductor. Discul D_s, confecționat din cupru, acționează asupra sistemului de indexare tip clichet. El realizează forța necesară F, prin descărcarea bateriei de condensatoare C_1, la amorsarea tiristorului T_1. Dioda D_1 asigură un regim aperiodic de descărcare, fapt ce mărește eficiența sistemului și împiedică încărcarea bateriei C_1 (realizată din condensatoare electrolitice) la polaritate inversă. Încărcarea prealabilă a bateriei de condensatoare C_1 se realizează prin transformatorul T_c, puntea Graetz G_1 și rezistența de limitare R_1. Grupul R_2 și C_2, asigură protecția la supratensiunile ce pot fi transmise prin rețeaua de alimentare. Comanda tiristorului T_1 se transmite de la un programator automat, care controlează întregul proces de încercare, și realizează o prelucrare statistică a datelor obținute [10].

Deoarece curentul de descărcare este de cîțiva kA, tiristorul de putere T_1 utilizat, are o integrală Joule admisibilă corespunzătoare. Pentru a avea o amorsare sigură a acestuia, cu o întîrziere cît mai redusă, se utilizează un tiristor auxiliar T_2 de mică putere care descarcă pe poarta lui T_1 condensatorul C_4 prin rezistența R_5. Condensatorul C_4 este încărcat, în prealabil, de la transformatorul T_c

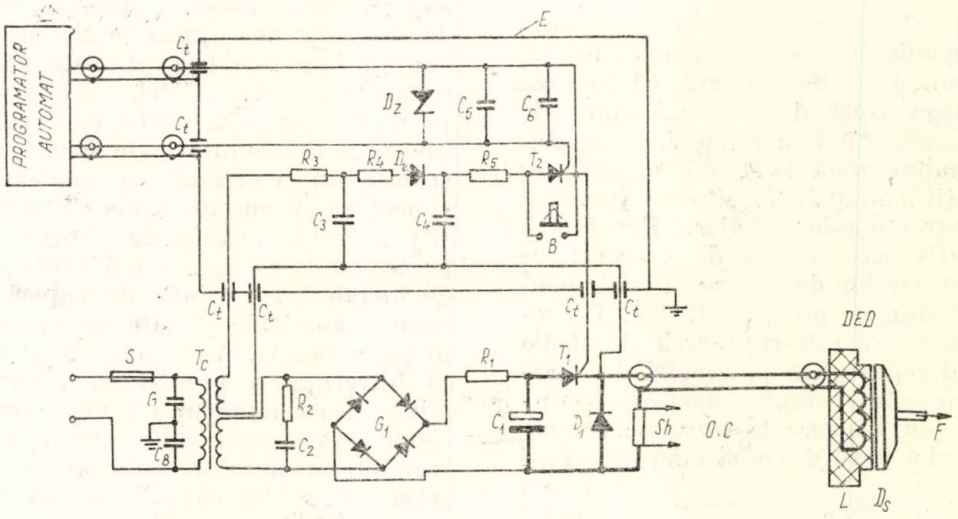


Fig. 2. Schema dispozitivului cu repulsie electrodinamică utilizat.

prin dioda D_2. Prin aceasta se asigură pentru T_1 un curent de comandă cu front rapid și amplitudine de circa 2A, care asigură o bună funcționare a schemei.

Pentru a elimina apariția unor acționări intempestive, datorate unor tensiuni parazite, au fost prevăzute elemente de filtrare care protejează tiristorul T_2. Acestea sînt constituite din condensatoarele C_5, C_8, precum și din ansamblul R_3, R_4, C_3. În același scop s-a prevăzut un ecran conductor E, conectat la pămînt. Pentru a reduce pe cît posibil inductivitatea legăturii dintre bateria de condensatoare C_1 și bobina L, racordul este de tip coaxial. Dat fiind că instalația a fost încercată în absența programatorului automat, comanda de acționare s-a realizat manual prin butonul B, care scurtcircuitează tiristorul T_2. În schemă a fost prevăzut suntul coaxial Sh, pentru măsurarea și înregistrarea curentului prin bobina dispozitivului Thomson.

În figura 3 se prezintă schema generală de principiu a instalației de încercat contacte în vid, în care este înserat dispozitivul cu repulsie electrodinamică DED. Această schemă a fost elaborată de prof. G. Hortopan, în cadrul programului prezentat în lucrarea [10]

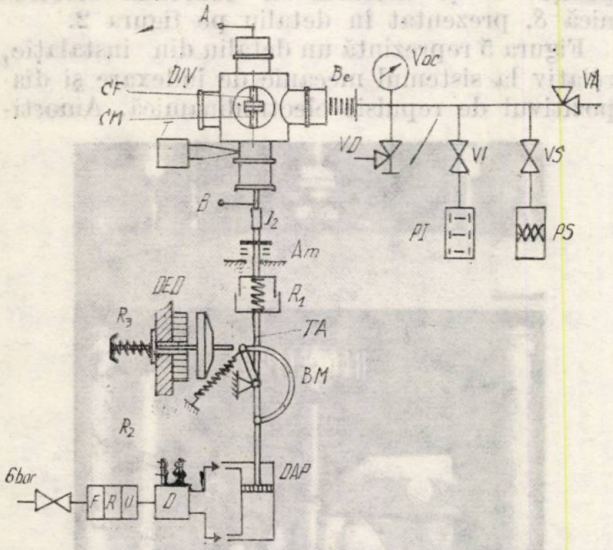


Fig. 3. Schema de principiu a instalației de încercat contacte în vid.

Instalația se compune dintr-o incintă DIV. executată din oțel inox, în care se plasează piesele de contact de încercat. Incinta este prevăzută cu două ferestre circulare din cuarț, plasate după axa transversală a acesteia. Prin ferestre pot fi urmărite fenomenele ce se produc la contacte și se pot executa fotografii sau filmări rapide asupra proceselor de comutație. Incinta este legată printr-un burduf elastic B_e, confecționat din tablă de oțel inox, de instalația care realizează vidul avansat. Aceasta este compusă dintr-o pompă de sorbție PS, pentru producerea vidului preliminar și o pompă ionică PI, pentru vid înaintat. Pompele sînt comandate de ventilele VS și VI. Montajul mai conține ventilul de admisie VA și ventilul de dozare VD. Primul permite revenirea la presiunea atmosferică în incintă (pentru a putea schimba piesele de contact prin demontarea elementelor acesteia), iar al doilea asigură reglarea presiunii în incintă în limitele dorite. Acest lucru este foarte important deoarece instalația permite realizarea unor studii complexe privind influența presiunii asupra duratei de viață a contactelor utilizate. Presiunea din incintă este măsurată cu un instrument de precizie V_{ac}.

În incinta vidată se află piesa-suport a contactului fix CF, fixată de batiul instalației de încercare, fiind în legătură cu borna superioară A. Piesa suport a contactului mobil CM este conectată la borna inferioară B. Aceasta este prevăzută cu un burduf elastic care permite realizarea unei curse a contactelor de circa 10—15 mm. Piesele de contact propriuzise, executate sub forma unor discuri, se prind prin încastrare în piesele-suport corespunzătoare. Aceasta permite încercarea unor combinații multiple relativ la materialul și forma pieselor de contact, precum și examinarea acestora după un set de încercări. Suportul contact mobil CM este cuplat cu tija de acționare TA, care asigură legătura cu organul motor al schemei cinematice. Acesta este un cilindru cu piston DAP, comandat pneumatic. Alimentarea motorului pneumatic se face la presiunea de 6—10 bar, prin intermediul unui ansamblu „Filtru-Regulator-Ungător" (FRU) și a unui distribuitor D, comandat prin două electrovalve. Pentru a se asigura izolația față de masă, tija de acționare este prevăzută cu izolatorul I_2 din sticlotextolit.

Sistemul de acționare permite realizarea mișcării de închidere și deschidere sincronă a contactelor, la comenzile transmise de programatorul automat.

Mișcarea de închidere se execută prin trimiterea aerului comprimat la partea inferioară a pistonului. Prin aceasta tija TA se ridică, contactele din incintă se închid și se comprimă resortul care asigură presiunea în contact R_1. Dat fiind că, pentru experimentări, este necesar ca forța de presiune în contact să poată fi variată între 100 N și 600 N, acest resort este calibrat și are precomprimarea rezglabilă din exterior.

Mișcarea de deschidere trebuie să se realizeze rapid, cu comandă sincronă și cu un timp propriu cît mai redus. Pentru aceasta, în vederea executării unei deschideri, se trimite în prealabil aer comprimat pe suprafața superioară a pistonului, tija TA fiind indexată în poziția superioară (contactele din incintă în poziția închis). La comanda programatorului automat, sistemul de indexare eliberează

tija *TA*, care asigură o deschidere rapidă a contactelor, sincronă, cu injectarea unui curent intens prin bornele *AB* ale incintei vidate. Sistemul de indexare mecanică se compune în principal din declanşatorul Thomson *DED* şi un ansamblu-bielă-manivelă *BM*. Acesta asigură indexarea tijei *TA* în poziţia superioară prin blocarea elementelor *BM* în punctul mort superior. Se realizează astfel un clichet mecanic cu frecare redusă, lucru deosebit de important, ţinînd seama de faptul că instalaţia trebuie să execute un număr foarte mare de manevre. Menţinerea în punctul mort superior este asigurată de resoartele R_2. La comanda programatorului automat, dispozitivul cu repulsie electrodinamică *DED* asigură, prin forţa, *F* exercitată asupra clichetului *BM*, scoaterea acestuia din punctul mort superior şi deschiderea rapidă a contactelor. Pentru a reduce şocurile mecanice la sfîrşitul cursei, tija *TA* este prevăzută cu un amortizor *AM* cu discuri de cauciuc şi plăci metalice. Resortul R_3 readuce discul conductor, în poziţia iniţială, sistemul fiind pregătit pentru o nouă deschidere comandată.

Dispozitivul de acţionare al instalaţiei de încercat contacte, plasat pe bancul de probe, este prezentat în figura 4. Pe aceasta pot fi observate o serie de elemente constructive, care

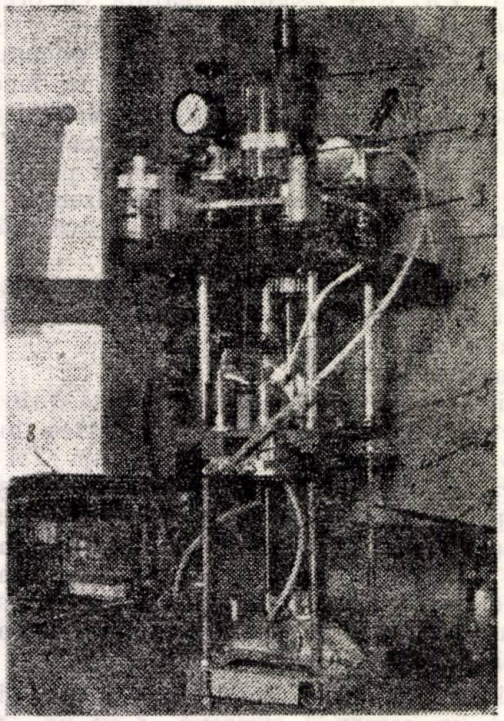


Fig. 4. Dispozitivul de acţionare pe bancul de probe.

asigură o bună funcţionare, conform condiţiilor enumerate anterior. Izolatorului I_2 din figura 3, care asigură izolaţia faţă de masă a incintei vidate, îi corespunde poziţia *1*. Poziţia *2* se referă la grupul „Filtru-Regulator-Ungător", care este prevăzut suplimentar cu un manometru ce măsoară presiunea aerului comprimat şi un robinet manual. De asemenea, există un ventil de dozare cu ajutorul căruia se poate regla presiunea de acţionare a motorului pneumatic. Placa de bază *3*, confecţionată din textolit, susţine întregul ansamblu de elemente constructive, prin intermediul a patru tiranţi de susţinere, prevăzuţi cu porţiuni filetate. Cu ajutorul acestora se pot realiza diverse reglaje asupra plăcilor intermediare, care susţin sistemul de indexare şi a motorului pneumatic. Astfel, ansamblul disc-bobină, notat cu *4*, este plasat în apropierea sistemului de clichetare bilă-manivelă, ambele fiind montate pe prima placă intermediară. Aceasta susţine şi distribuitorul pneumatic *5*, comandat prin două electrovalve ale căror bobine se alimentează la tensiunea de 24 V. Cilindrul cu piston, cu tijă unilaterală, este notat cu *6*. Întregul ansamblu formează un modul ce se inserează uşor în instalaţia de încercat contacte în vid. De asemenea, construcţia permite o demontare rapidă atunci cînd este necesară schimbarea combinaţiei de contacte de studiat. Pe bancul de probe, se observă şuntul coaxial *Sh*, căruia îi corespunde poziţia *7* şi sistemul de comandă electronică *8*, prezentat în detaliu pe figura 2.

Figura 5 reprezintă un detaliu din instalaţie, relativ la sistemul mecanic de indexare şi dispozitivul de repulsie electrodinamică. Amorti-

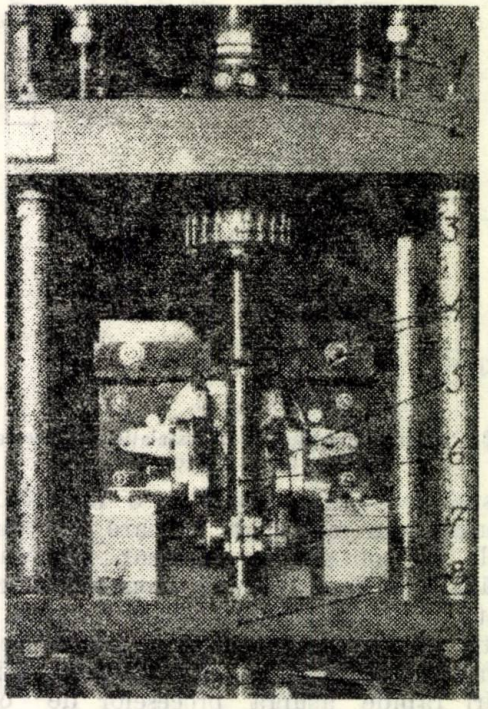


Fig. 5. Detaliu asupra sistemului de indexare mecanică.

zorul este fixat în interiorul plăcii portante *1*, a cărei poziţie este reglabilă în plan vertical. Prin aceasta se poate regla sursa liberă a con-

tactelor între 1 mm și 40 mm. Aceste valori acoperă întregul interval de curse utilizate în prezent la contactoarele și întreruptoarele în vid, de joasă și medie tensiune. Prin intermediul colierelor *3*, prevăzute cu filet milimetric, se poate regla din exterior precomprimarea resortului de presiune în contact. De asemenea, acest lucru permite asigurarea unei viteze inițiale V_0, în mișcarea de deschidere a pieselor de contact. Pe figură se pot observa resoartele R_2 (notate cu 4), care mențin sistemul bilă-manivelă *5* în punctul mort superior. Acestea se referă la poziția „clichetat", deci contactele aparatului sînt în poziția „închis".

Legătura între tija de acționare *6* și sistemul bilă-manivelă se realizează prin intermediul pieselor *7*, care permite indexarea în poziția dorită. Aceste elemente sînt plasate pe placa intermediară *8*, a cărei poziție se poate regla în raport cu tiranții de susținere. Placa *8* este confecționată din material izolant cu bune proprietăți mecanice (sticlotextolit), pentru a nu influența negativ funcționarea dispozitivului Thomson, (aflat în planul al doilea al figurii). Legătura dintre cilindrul pneumatic *9* și distribuitorul *D*, este realizată prin conducte dimensionate pentru presiunea de 10 bar.

Instalația realizată a fost supusă la probe funcționale, urmărindu-se în special determinarea parametrilor cinematici în mișcarea de deschidere. Pentru aceasta a fost utilizat un traductor de deplasare tip inductiv, montat solidar cu piesa contact mobil. Acesta permite trasarea curbei spațiului funcție de timp, prin intermediul unei punți specializate tip N 2323, de fabricație IEMI. Înregistrarea s-a făcut cu ajutorul unui osciloscop cu memorie, cu două canale, tip TEKTRONIX 7613. Figura 6 arată o oscilogramă ridicată în timpul probelor. Curba *a* reprezintă curentul prin bobina declanșatorului Thomson, obținut cu ajutorul șuntului coaxial. Valoarea de vîrf a acestuia este de circa 8 kA_{max}, iar durata sa de aproximativ 2 ms. Curba *b* este spațiul la deschidere, funcție de timp. Diagrama se referă la situația în care presiunea de acționare a motorului pneumatic este de 6,4 bar, cursa liberă a contactelor 8 mm, cursa în contact 2 mm, corespunzătoare unei forțe de presiune în contact F_c = 120 N. Conform acestei oscilograme, în cazul mișcării de deschidere, timpul propriu este de circa 2,2 ms, iar viteza medie de deplasare a contactului mobil de 1,2 m/s. Dispozitivul asigură o viteză inițială a contactelor de cca 0,5 m/s, valoarea reglabilă prin precomprimarea resortului de presiune în contact. De asemenea, se observă că prezența amortizorului elimină total fenomenul de pompaj la sfîrșitul cursei.

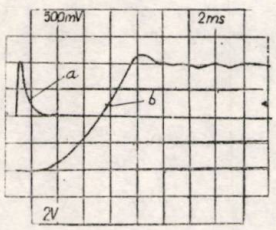


Fig. 6. Curentul de comandă și cursa la deschidere a contactelor funcție de timp.

Concluzii

Dispozitivul realizat permite încercarea în condiții optime, din punct de vedere cinematic, a pieselor de contact destinate aparatelor de comutație cu camere de stingere în vid. Prin performanțele sale acesta permite simularea cinematicii oricărui contactor sau întreruptor în vid, de joasă sau medie tensiune. Constructiv și funcțional, instalația realizată asigură parametrii comparabili cu cele descrise în literatură. De exemplu, soluția prezentată în [2,5], folosește pentru indexare un electromagnet de reținere, fapt ce introduce o întîrziere datorită circuitului magnetic cu fier. Ca urmare, timpul propriu de acționare este de circa 3,5 ms. Forța de presiune în contact F_c poate fi reglată între 40 N și 100 N. Viteza medie la deschidere variază între 0,3 m/s și 0,6 m/s.

Sistemul de acționare construit, care asigură indexarea cu ajutorul unui dispozitiv de repulsie electrodinamică, are un timp propriu de acționare redus, ceea ce diminuează dispersia de timp în acționarea contactelor de studiat. Aceasta permite realizarea unei bune coordonări între cinematica pieselor de contact și fenomenele de natură electrică din instalație. De asemenea, se asigură o bună reproductibilitate a caracteristicilor spațiu funcție de timp la deplasarea contactelor, ceea ce permite formarea și încercarea în condiții optime a acestora.

Bibliografie

[1] *Hortopan, G.* Aparate electrice — Principii și aplicații. Ediția a treia, Editura didactică și pedagogică-București 1980.

[2] *Jäger, K. W.* și *Frey, P.* Vergleichende Untersuchung von Kontaktwerkstoffen für Vakuumleistungsschalter und schütze. In : Elektrotechnik **63**, H. 24, Dec. 1981.

[3] *Shores, Philips.* High Voltage Vacuum Circuit Breakers. În : IEEE-Trans. **PAS-94**, nr. 5, 1975 p. 1821.

[4] *Arthur, M. E.* și *Zunick, M. I.* Useful Life of Vacuum Interupters. In : IEEE-Trans. **PAS-97**, No. 1, 1978, p. 1—7.

[5] *Reininghaus, U.* Aufbau und Inbetriebnahme einer Versuchsanlage für Untersuchungen von Kontaktwerkstoffen für Vakuumschalter In : ETZ Archiv Bd. 3, 1981 H. 4. s. 113—116.

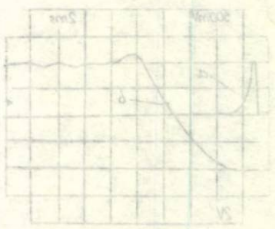
[6] *Haupt, H. L., Götsch, A., Böttcher, L.* și *Pliet, H.* Über Kurzschlußstromausschaltprüfungen an Vakuumschaltstrecken im Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld. In : Wissenschaftlich-technische-Mitteilungen IPH.H.22 1980, S. 3—10.

[7] *Pavelescu, D.* și *Ghelea E.* Dispozitiv ultrarapid cu repulsie electrodinamică. In : EEA-Electrotehnica **24**, nr. 8, nov, 1976, p. 103.

[8] *Pavelescu, D.* Soluție optimizată pentru declanșatorul ultrarapid cu repulsie electrodinamică. În : EEA-Electrotehnica **25**, nr. 3, apr. 1977, p. 121.

[9] *Hortopan, G., Trușcă, V., Pavelescu, D., Nițu, S.* și *Șerbănescu, M.* Aparate electrice. Tehnica fenomenelor rapide. București, Editura tehnică (în curs de apariție).

[10] *Hortopan, G : Trușcă, V.* și *Pavelescu, D.* Tehnica vidului în aparatele de comutație. Comunicare la Conferința Națională de Energetică — București 1983.



CZ 621.318.73 : 621.3.07

FILTRE TRANSVERSALE
ALGORITM DE REGLAJ

Corecția în domeniul timp folosind filtre transversale cu ajustare manuală

IOAN MITESCU * — BUCUREȘTI

Corecția în domeniul timp a demarat cu filtrul transversal inventat de Norbert Wiener și Yuk-Wing-Lee în 1935. Prima referire la filtrul transversal din literatură aparține însă lui Heinz Kallmann [1]. În articolul său, Kallmann menționează patentul lui A.D. Blumlein referitor la o rețea de filtrare, folosind o linie de întîrziere.

În acest articol se prezintă posibilitățile teoretice și practice de corecție în domeniul timp, folosind filtre transversale cu ajustare manuală a coeficienților. Se fundamentează teoretic algoritmurile de reglaj și se prezintă un filtru transversal realizat de autor.

Introducere

Filtrul transversal trebuie privit ca un caz particular al unei structuri în lanț, în care subsistemele sînt celule de întîrziere, iar coeficienții părții recursive sînt nuli [2]. În figura 1 s-a desenat un filtru transversal avînd N_1 trepte la stînga și N_2 trepte la dreapta treptei de referință c_0. Coeficienții c_n sînt ponderi ajustabile între $+1$ și -1, c_0 avînd valoarea $+1$. Cu T s-au notat celulele de întîrziere.

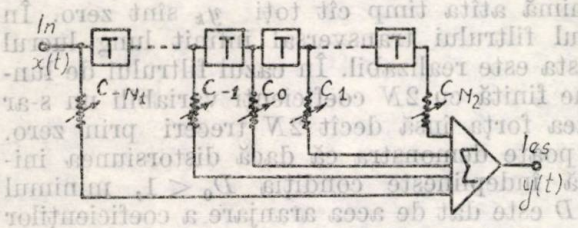


Fig. 1. Schema-bloc a filtrului transversal.

Capacitatea de corecție a filtrului transversal se bazează pe faptul, demonstrat într-un articol anterior [3], că răspunsul unui canal la un impuls dat, aplicat la intrare, constă dintr-un impuls de aceeași formă cu cel aplicat la intrare, numit răspuns principal și din ecouri anterioare și posterioare acestuia. Cu filtrul transversal se pot anihila tocmai aceste ecouri. După cum rezultă din figura 1, la treapta centrală c_0 se derivează un răspuns principal, iar la celelalte trepte se derivează ecouri, la momente multiplu de T, care pot contracara ecourile din structura răspunsului principal. Evident, ace te ecouri pot fi anihi latenumai în plaja de timp a filtrului astfel încît distorsiunea de vîrf a semnalului aplicat la intrare, poate fi micșorată cu un filtru dat, prin anihilarea ecourilor numai din plaja de lucru a filtrului.

Dacă întîrzierea T a unei celule de întîrziere se ia egală cu perioada de repetiție a unei transmisiuni sincrone de date numerice, prin ajustarea corespunzătoare a coeficienților c_n se poate diminua distorsiunea de vîrf a semnalului recepționat, astfel încît interferența simbolurilor să nu fie supărătoare. Se poate realiza astfel o transmisie sincronă cu o rată a erorilor diminuată.

Considerînd pentru simplitate un filtru transversal simetric, avînd $N_1 = N_2 = N$, și luînd ca referință treapta centrală a filtrului, semnalul de la ieșire va fi cel din (1). La momentul $t_0 + kT$, unde t_0 este momentul de referință, se obține relația (2) care poate fi scrisă prescurtat ca în (3).

$$y(t) = \sum_{n=-N}^{N} c_n x(t - nT), \tag{1}$$

$$y(t_0 + kT) = \sum_{n=-N}^{N} c_n x[t_0 + (k - n)T], \tag{2}$$

$$y_k = \sum_{n=-N}^{N} c_n x_{k-n}. \tag{3}$$

Pentru exemplificare se consideră $x(t)$ și $y(t)$ ca în figura 2. Dînd valori lui k în (3), pentru $N = 1$, rezultă :

$$\left.\begin{aligned} y_0 &= \sum_{n=-1}^{1} c_n x_{-n} = c_{-1}x_1 + c_0 x_0 + c_1 x_{-1} \\ y_1 &= \sum_{n=-1}^{1} c_n x_{1-n} = c_{-1}x_2 + c_0 x_1 + c_1 x_0 \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

etc.

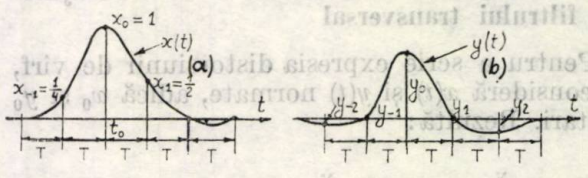


Fig. 2. Impulsul aplicat la intrarea în filtru (a) și impulsul corespunzător la ieșire.

* Ing. *Mitescu, I.* – Institutul politehnic - București.

În consecință, la ieșire rezultă secvența $\{y_k\}$ care se obține din cea de la intrare $\{x_k\}$ prin înmulțire polinomială cu setul de valori $\{c_n\}$;

$$\{x_k\} \quad x_{-1} \quad x_0 \quad x_1$$

$$\{c_n\} \quad \begin{array}{ccc} c_{-1} & c_0 & c_1 \\ \hline c_{-1}x_{-1} & c_{-1}x_0 & c_{-1}x_1 \end{array},$$

$$\{y_k\} \quad \begin{array}{ccccc} & c_0 x_{-1} & c_0 x_0 & c_0 x_1 & \\ c_1 x_{-1} & c_1 x_0 & c_1 x_1 & & \\ \hline y_{-2} & y_{-1} & y_0 & y_1 & y_2 \end{array}.$$

Pentru secvența $\{y_k\}$ se poate pune condiția ca în plaja de timp a filtrului $y_k = 0$, $k \neq 0$. Dacă $x_{-1} = +\frac{1}{4}$, $x_0 = +1$, $x_1 = +\frac{1}{2}$ rezultă $c_{-1} = -\frac{1}{4}$, $c_0 = 1$, $c_1 = -\frac{1}{2}$. Într-adevăr se obține:

$$\{x_k\} \quad \frac{1}{4} \quad 1 \quad \frac{1}{2}$$

$$\{c_k\} \quad \begin{array}{ccc} -\frac{1}{4} & 1 & -\frac{1}{2} \\ \hline -\frac{1}{16} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{8} \end{array},$$

$$\{y_k\} \quad \begin{array}{ccccc} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{2} & \\ -\frac{1}{8} & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{4} & & \\ \hline -\frac{1}{16} & 0 & \frac{3}{4} & 0 & -\frac{1}{4} \end{array}.$$

Alegînd deci atenuările ca mai sus, la momentele $t_0 - T$ și $t_0 + T$ se obțin treceri prin zero. Se observă însă că apar alte eșantioane (alte ecouri) la intervale mai mari decît NT secunde față de centru, care nu mai pot fi anihilate cu filtrul dat.

1. Minimizarea distorsiunii de vîrf cu ajutorul filtrului transversal

Pentru a scrie expresia distorsiunii de vîrf, se consideră $x(t)$ și $y(t)$ normate, adică x_0 și y_0 unitari. Rezultă:

$$y_0 = \sum_{n=-N}^{N} c_n x_{-n} = \sum_{n=-N}^{N}, c_n x_{-n}\, c_0 x_0 = 1. \quad (5)$$

Această relație este adevărată dacă:

$$c_0 = 1 - \sum_{n=-N}^{N}, c_n\, x_{-n}. \quad (6)$$

Dar: $y_k = \sum_{n=-N}^{N} c_n x_{k-n} + c_0 x_k,$ (7)

și ținînd seamă de (6) rezultă:

$$y_k = \sum_{n=-N}^{N}, c_n(x_{k-n} - x_k x_{-n}) + x_k. \quad (8)$$

Distorsiunea de vîrf va fi:

$$D = \sum_{k=-\infty}^{+\infty}, |y_k| =$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{+\infty}, \left| \sum_{n=-N}^{N}, c_n(x_{k-n} - x_k x_{-n}) + x_k \right|. \quad (9)$$

Se demonstrează ușor că distorsiunea de vîrf este o funcție convexă de coeficienții variabili c_n[4]. Aceasta înseamnă că concavitatea lui D este pozitivă, adică D nu posedă nici un minim relativ în afara minimului său absolut. Astfel, găsind valoarea minimă a lui D în funcție de coeficienții c_n, există certitudinea că s-a obținut aranjarea optimă a treptelor filtrului potrivit criteriului distorsiunii de vîrf.

Din cercetarea relației (9) rezultă o altă concluzie importantă și anume că distorsiunea este minimă atîta timp cît toți y_k sînt zero. În cazul filtrului transversal infinit lung lucrul acesta este realizabil. În cazul filtrului de lungime finită cu $2N$ coeficienți variabili nu s-ar putea forța însă decît $2N$ treceri prin zero. Se poate demonstra că dacă distorsiunea inițială îndeplinește condiția $D_0 < 1$, minimul lui D este dat de acea aranjare a coeficienților c_n care dă simultan $y_n = 0$, $n = -N \div +N$, $n \neq 0$.

Se presupune că setul $\{c_n\}$ dă distorsiunea minimă deși există o valoare $y_j \neq 0$, j fiind oricare dintre valorile $-N \div +N$, $j \neq 0$. Dar lucrul acesta nu este posibil deoarece ar exista o altă secvență $\{c_n^*\}$ căreia îi corespunde o distorsiune $D^* < D$. Pentru a proba aceasta se consideră $\{c_n^*\} = \{c_n\}$; $n = -N \div +N$, excepție c_j^* care este definit în modul următor:

$$c_j^* = c_j - \Delta\, sgn\ y_j; \quad 0 < 2\Delta < |y_j|. \quad (10)$$

Distorsiunea care rezultă, conform relației (9) este:

$$D^* = \sum_{k=-\infty}^{+\infty}, |y_k - \Delta sgn\ y_j\,(x_{k-j} - x_k x_{-j})|$$

(11)

și, după cum se arată în [4], îndeplinește condiția :

$$D^* \leqslant D. \tag{12}$$

Cu alte cuvinte în ipoteza $D_0 < 1$, anulind N ecouri anterioare și N ecouri posterioare momentului de referință, se obține corecția optimă.

Se face observația că dacă $D_0 \geqslant 1$ concluzia (12) nu mai este certă, adică, anulînd $2N$ ecouri în plaja de timp a egalizorului s-ar putea ca distorsiunea să nu scadă ci să crească. Totuși, încredințat fiind de faptul că D este convexă de $\{c_n\}$, Davisson a găsit și alte condiții în care ajustarea (10) conduce încă la o aranjare optimă. Aceste condiții au însă un caracter mult mai particular [5].

O altă observație se referă la filtrul nesimetric. Dacă aceasta are N_1 trepte reglabile la stînga treptei centrale c_0 și N_2 la dreapta, corecția optimă corespunde evident setului $\{c_n\}$, care anulează N_1 ecouri anterioare și N_2 ecouri posterioare momentului de referință.

2. Ajustarea manuală a filtrului transversal după criteriul distorsiunii de vîrf

Discuția anterioară permite o concluzie importantă și anume : dacă D este distorsiunea (neminimă) la ieșirea care corespunde setului $\{c_n\}$, ajustînd atenuatorul c_j cu o mărime Δ, care satisface condiția (10), în sens contrar lui y_j, distorsiunea D scade. Lucrul acesta permite intuirea căii de urmat pentru realizarea distorsiunii minime la ieșire, în ipoteza $D_0 < 1$. În continuare se vor etala trei metode de egalizare prin ajustarea manuală a treptelor.

Metoda 1 — i se bazează pe faptul că în absența zgomotului, dacă $D_0 < 1$ ochiul este parțial deschis, adică pentru T ales pe canal s-ar putea fae o transmisiune normală în binar. Micșorarea distorsiunii este necesară pentru a diminua rata erorilor în prezența zgomotului.

Procedeul constă în transmiterea prin canal a impulsurilor cu perioada de repetiție T și ajustarea manuală a atenuatoarelor din setul $\{c_n\}$ urmărind pe osciloscop creșterea ochiului. Procedeul este sigur convergent din moment ce există un singur minim pentru D în funcție de setul $\{c_n\}$, cu condiția ca la fiecare ajustare să fie respectată condiția (10). Conform relației (12), după obținerea minimului cel mai pronunțat, ajustînd c_j, $j \neq 0$, prin ajustarea corespunzătoare a lui c_i, $i \neq 0$, se va obține un minim și mai pronunțat ș. a. m.d. (evident, trebuie menționat în permanență $x_0 = y_0 = 1$), De exemplu se ajustează mai intîi c_{-1} și c_{+1} apoi c_{-2} și c_{+2} etc. Se revine apoi și se reajustează c_{-1} și c_{+1} ș.a.m.d.

Metoda a 2-a se bazează pe faptul că distorsiunea de vîrf este minimă cînd se realizează cîte N treceri prin zero la stînga și la dreapta și adiacente momentului de referință, ca în figura 3. Dacă răspunsul la impuls al canalului durează mai puțin de N' intervale T, atunci pe canal se transmit impulsuri cu perioada de repetiție $T' = N'T$ și se vizualizează aceste impulsuri la recepție în banda de bază pe un osciloscop cu perioada de baleiaj T'(fig. 4).

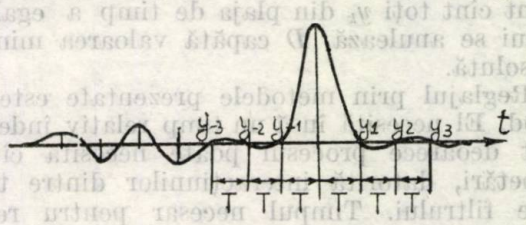


Fig. 3. Exemplu de semnal corectat cu $N = 3$ treceri prin zero la stînga și la dreapta lui t_0.

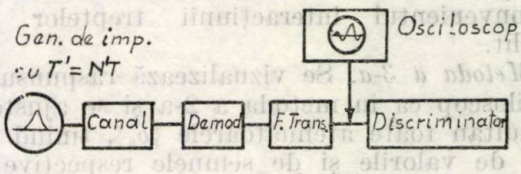


Fig. 4. Lanțul de transmisie pentru ajustarea manuală a filtrului prin metoda a 2-a.

Pentru a deduce modul de ajustare a coeficienților se scrie (7), cu $c_0 = 1$, sub forma :

$$y_k = x_k + c_k + \sum_{\substack{n=-N \\ n \neq 0,k}}^{N} c_n x_{k-n}. \tag{13}$$

Urmărind $y_k = 0$, pentru $-N \leqslant k \leqslant N$, $k \neq 0$, se vede că o primă aproximație pentru valoarea lui c_k este :

$$c_k = -x_k. \tag{14}$$

Concluzia oferită de relația (14) este că ecoul k este controlabil în principal prin atenuatorul k, de unde rezultă următorul algoritm de ajustare a coeficienților : se ajustează c_1 pînă cînd $y_1 = 0$, apoi c_2 pînă cînd $y_2 = 0$ etc. ; se revine și se ajustează din nou c_1, pînă cînd $y_1 = 0$, ș.a.m.d.

Este important ca c_k să fie ajustat pînă ce ecoul se atinge complect deoarece, pentru faza respectivă de reglaj, D ca funcție de c_k trece printr-un minim. Lucrul acesta se înțelege ușor dacă se scrie (9) sub forma :

$$D = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \left| \sum_{n=-N}^{N} c_n (x_{k-n} - x_k x_{-n}) \, sgn \, y_k \right| + \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x_k sgn \, y_k. \tag{15}$$

Se vede că D este o funcție liniară de c_n atîta timp cît semnul lui y_k rămîne neschimbat. Presupunînd că c_n este ajustat astfel încît D să scadă, acestă scădere continuă pînă ce un y_k schimbă de semn. În consecință, trecerile prin zero ale diferiților y_k dau puncte de minim ale lui D. Deci ajustînd c_k pînă ce y_k devine zero, se atinge precis un astfel de minim. Evident cînt toți y_k din plaja de timp a egalizorului se anulează, D capătă valoarea minimă absolută.

Reglajul prin metodele prezentate este comod. El necesită însă un timp relativ îndelungat deoarece procesul poate necesita cîteva repetări, datorită interacțiunilor dintre treptele filtrului. Timpul necesar pentru reglaj depinde de: distorsiunea inițială, numărul de trepte al filtrului, valorile inițiale ale atenuatoarelor și de abilitatea operatorului. Se va prezenta în continuare o metodă în care inconvenientul interacțiunii treptelor este ocolit.

Metoda a 3-a. Se vizualizează răspunsul pe osciloscop ca în metoda a 2-a și se ajustează simultan toate atenuatoarele $\{c_n\}$, ținînd seama de valorile și de semnele respective din secvența $\{y_k\}$. Apoi se face o nouă evaluare a semnalelor în care trebuie ajustate în continuare atenuatoarele, o nouă ajustare ș. a. m. d. Convergența procesului este asigurată. După o astfel de ajustare y_k devine y_k^* astfel încît $|y_k^*| < |y_k|$. Se va presupune că atenuatoarele sînt digitale, astfel încît c_n scade cu $+\Delta$, dacă $y_n > 0$ și crește cu $+\Delta$, dacă $y_n < 0$.

$$(7) \rightarrow y_k^* = \sum_{n=-N}^{N} (c_n - \Delta sgn\ y_n) x_{k-n} + c_0 x_k =$$

$$= y_k - \Delta \sum_{n=-N}^{N} x_{k-n}\, sgn\ y_n =$$

$$= y_k - \Delta \sum_{\substack{n=-N \\ n \neq k}}^{N} x_{k-n}\, sgn\ y_n - \Delta sgn\ y_k, \quad (16)$$

$$\rightarrow |y_k^*| \leqslant \Big| |y_k| - \Delta \Big| + \Delta \sum_{\substack{n=-N \\ n \neq k}}^{N} |x_{k-n}|, \quad (17)$$

sau:

$$|y_k^*| \leqslant \Big| |y_k| - \Delta \Big| + \Delta \Big| D_0 - |x_k| \Big|.$$

Dar, $D_0 < 1$ și $|x_k| < 1$ astfel încît valoarea maximă pentru $\Big| D_0 - |x_k| \Big|$ este 1. În consecință:

$$|y_k^*| < \Big| |y_k| - \Delta \Big| + \Delta.$$

Dacă $|y_k| > \Delta, \rightarrow |y_k^*| < |y_k|$.

Dacă $|y_k| < \Delta, \rightarrow |y_k^*| < 2\Delta$.

Aceasta înseamnă că procesul este convergent și fiecare ordonată din secvența de ieșire tinde către o valoare din interiorul unei plaje 2Δ.

3. Realizarea practică

Primul filtru transversal a fost realizat de autor în 1976 în cadrul Catedrei de telefonie și transmisiuni de date a Facultății de electronică și telecomunicații. Cu $N = 4$, lungimea filtrului este $2N + 1 = 9$ astfel încît fitrul vizează stingerea a 4 ecouri anterioare și 4 ecouri posterioare momentului de referință t_0.

Celulele de întîrziere sînt proiectate după metoda prezentată în [6]. Funcția de transfer, de gradul $m = 5$, este cea din (18), în care $x = j\omega T$, $T = \dfrac{1}{1\,600}$ sec.

$$f(x) = \frac{1 - \frac{1}{2}x + \frac{2}{9}\frac{x^2}{2!} - \frac{1}{12}\frac{x^3}{3!} + \frac{1}{42}\frac{x^4}{4!} - \frac{1}{255}\frac{x^5}{5!}}{1 + \frac{1}{2}x + \frac{2}{9}\frac{x^2}{2!} + \frac{1}{12}\frac{x^3}{3!} + \frac{1}{42}\frac{x^4}{4!} + \frac{1}{252}\frac{x^5}{5!}} \quad (18)$$

Schema de principiu corespunzătoare și formulele pentru calculul elementelor sînt date în figura 5. Punînd toate rezistențele de 100 kΩ, pentru capacități, rezultă valorile: $C_1 = 3\,125$ pF, $C_2 = 1\,389$ pF, $C_3 = 781$ pF, $C_4 = 446$ pF, $C_5 = 208$ pF. Performanțele celulelor sînt apropiate de cele teoretice date în (7).

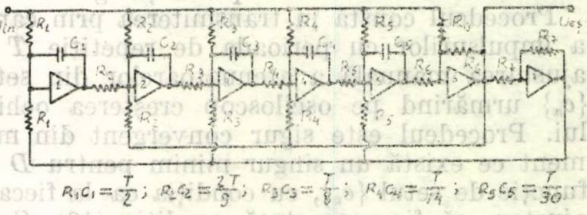


Fig. 5. Schema de principiu și relațiile de calcul al elementelor pentru celulele de întîrziere ale filtrului realizat.

În figura 6 este dată schema de principiu a filtrului. Coeficientul pondere variabil c_n se ajustează într-o plajă ± 1 din potențiometrul P_n și într-o plajă $\pm 0{,}1$ din potențiometrul p_n. Coeficientul central c_0 este fix și are valoarea $+1$.

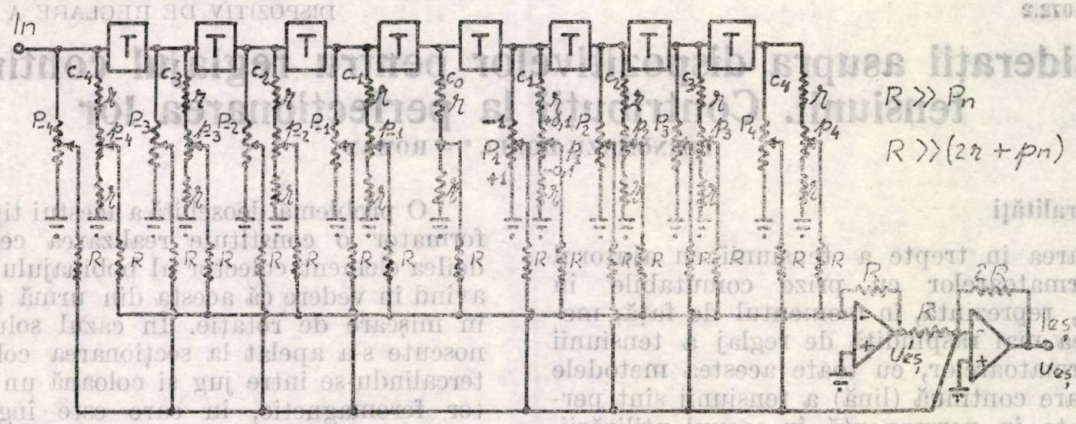


Fig. 6. Schema de principiu a filtrului transversal realizat.

Filtrul realizat (cu dimensiunile de gabarit 155 × 115 × 65 mm) a fost folosit într-un modem de date *MA* experimental, pentru corectarea impulsurilor recepționate cu rata de 1 600 Baud.

Bibliografie

[1] *Kallmann, H. E.* Transversal filters. În: Proc. of the IRE, July 1940.

[2] *Schüssler, W.* Zur allgemeinen Theorie der Verzweigungsnetzwerke — AEÜ, Heft 8, 1968.

[3] *Mitescu, I.* Influența distorsiunilor liniare ale canalului telefonic asupra răspunsului în timp. În: Buletinul tehnico-științific de telecomunicații, nr. 1, 1981.

[4] *Lucky, R. W.* Automatic equalization for digital communication — BSTJ, April 1965:

[5] *Davisson, L. D.* Two theorems on minimax equalization. In: IRE Trans. on Inf. Th. — May, 1971.

[6] *Mitescu, I.* Linii de întîrziere realizate cu amplificatoare operaționale. În: EEA — Automatica și electronica 19, nr. 2, 1977.

[7] *Mitescu, I.* — Performanțele liniilor de întîrziere realizante cu amplificatoare operaționale. În: Buletinul tehnico-științific de telecomunicații, nr. 1, 1982.

CZ 621.3.072.2

Considerații asupra dispozitivelor pentru reglajul continuu al tensiunii. Contribuții la perfecționarea lor

CERNOMAZU DOREL * – ROMAN

Generalități

Reglarea în trepte a tensiunii cu ajutorul transformatoarelor cu prize comutabile în sarcină, reprezintă, în momentul de față, metoda cea mai răspîndită de reglaj a tensiunii transformatoarelor, cu toate acestea metodele de reglare continuă (lină) a tensiunii sînt perfecționate în permanență în scopul utilizării, fie în rețelele de distribuție, fie pentru alimentarea unor consumatori speciali, care necesită un reglaj fin și precis al tensiunii.

Un exemplu, în contextul celor arătate, îl constituie utilizarea transformatoarelor pentru reglajul continuu al tensiunii, în cadrul instalațiilor pentru încercarea cu tensiune alternativă mărită de frecvență industrială, unde calitățile reglajului continuu al tensiunii crează premizele automatizării acestor instalații.

Se cunosc un număr destul de mare de metode și dispozitive pentru reglarea continuă a tensiunii, fiind posibilă o clasificare a acestora, prezentată în cele ce urmează :

— dispozitive de reglare continuă cu contact alunecător ;

— dispozitive de reglare continuă cu deplasare relativă a bobinajelor ;

— dispozitive mixte pentru reglajul continuu al tensiunii, care îmbină caracteristicile primelor două categorii ;

— dispozitive statice de reglare continuă a tensiunii, bazate pe utilizarea amplificatoarelor magnetice.

Referitor la dispozitivele mixte trebuie remarcat faptul că ele au fost descrise într-o măsură mai mică în literatura de specialitate. Fără a prezenta complicații deosebite față de variantele incluse în categoriile anterioare, dispozitivele mixte permit obținerea unui reglaj deosebit de fin și precis al tensiunii, fapt ce justifică prezența lor în instalațiile pentru reglajul automat al tensiunii.

În principiu, un astfel de dispozitiv se prezintă sub forma unui transformator monofazat unde bobinajul secundar realizat din conductor neizolat (de regulă profilat) este dispus după un traseu spiralat, pe un cilindru electroizolant, ce poate fi rotit în jurul axei verticale. Suprafața neizolată a conductorului secundar este în permanență în contact cu o perie metalică ce reprezintă unul din elementele colectoare ale bobinajului secundar, și care se deplasează pe o direcție verticală în timpul rotirii acesteia.

* Ing. *Cernomazu, D.* — Uzina de reparat transformatoare și aparataj electric — Roman.

O problemă deosebită a acestui tip de transformator o constituie realizarea celui de al doilea element colector al bobinajului secundar avînd în vedere că acesta din urmă se găsește în mișcare de rotație. În cazul soluțiilor cunoscute s-a apelat la secționarea coloanei, intercalîndu-se între jug și coloană un disc rotitor feromagnetic, în care este înglobat un conductor izolat în legătură cu capătul superior al bobinajului secundar. Discul feromagnetic se rotește solidar cu bobinajul secundar. Conductorul izolat, după ce părăsește discul feromagnetic prin centrul acestuia, străbate jugul superior și se termină cu un sector metalic circular în contact cu cea de a doua perie colectoare.

Evident, secționarea coloanei și prezența discului feromagnetic între coloană și jug, determină existența a două întrefieruri, ce provoacă creșterea curentului de mers în gol și apariția unor vibrații supărătoare, ceea ce constituie dezavantajele acestei variante constructive.

1. Contribuții proprii

1.1. Prezentarea principală a soluțiilor originale

Pornind de la realizările precedente autorul a conceput și experimentat un transformator pentru reglajul continuu al tensiunii, prevăzute cu bobinaj secundar rotitor, la care s-a eliminat necesitatea secționării coloanei.

Transformatorul prezentat în figura 1, care face obiectul brevetului RSR nr. 74508, se compune dintr-un miez magnetic *1* unde, pe coloana centrală sînt montate un bobinaj primar fix și un bobinaj secundar rotitor *3*. Spirala rotitoare a bobinajului secundar se găsește în permanență în contact cu o perie *4*, care se deplasează pe verticală în sus sau în jos, funcție de sensul de rotație al bobinajului secundar. Deplasarea periei *4* se realizează pe un ghidaj vertical *4*.

De capătul inferior al bobinajului secundar este fixată o perie de contact *5* care se rotește solidar cu bobinajul secundar după un traseu circular (cu rază *R*), prezentat în figura 1 cu linie întreruptă.

Peria rotitoare *5* calcă succesiv pe suprafața interioară a pachetului de tole, care alcătuiesc jugul inferior, precum și pe suprafața grinzilor *6* și *7* care îndeplinesc astfel dublul rol : de element de presare al jugului și de element conducător de curent, implicat în sistemul co-

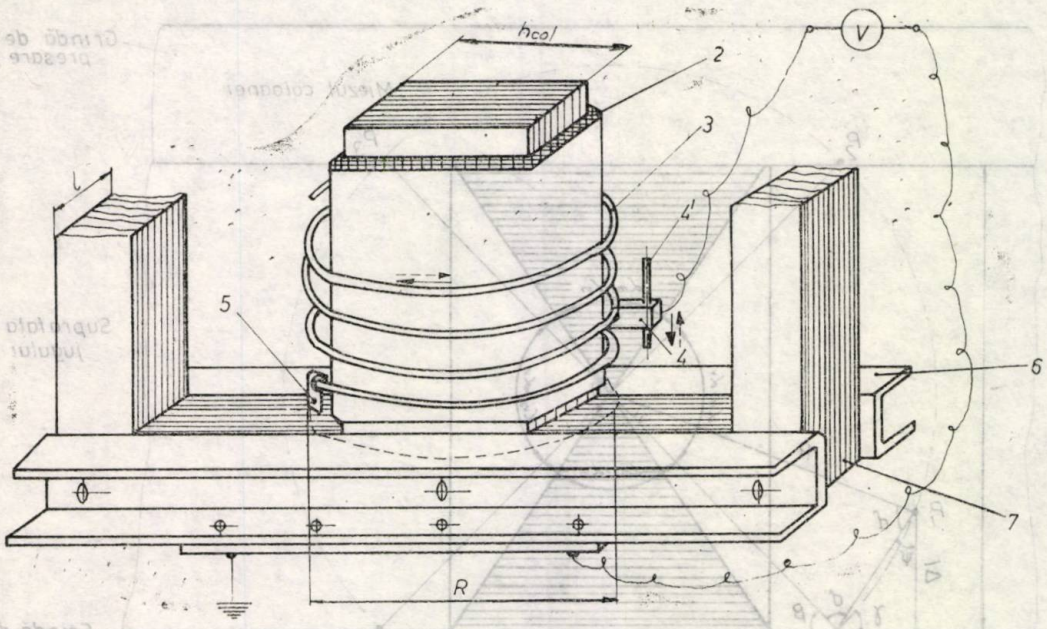


Fig. 1. Principiul de funcţionare a transformatorului pentru reglajul continuu al tensiunii, realizat în varianta fără secţionarea miezului magnetic.

lector al transformatorului. La partea inferioară a miezului este fixată o placă metalică colectoare *8* în contact cu fiecare din tolele ce alcătuiesc jugul inferior al transformatorului cît şi cu grinzile de presare *6* şi *7*.

Evident, în modul arătat curentul circulă de la bobinajul secundar *3*, prin peria rotitoare *5*, grinzile *6* şi *7* şi tolele jugului inferior la placa colectoare *8*, iar de la aceasta la unul din polii receptorului.

În legătură cu cele prezentate trebuie remarcat că suprafaţa interioară a jugului inferior, precum şi suprafeţele grinzilor *6* şi *7*, aflate în contact cu peria rotitoare *5*, trebuie să fie aşezate la acelaşi nivel cu o suprafaţă bine finisată. Pentru eliminarea pericolului de electrocutare miezul *1* şi grinzile *6* şi *7* se leagă la borna de împămîntare a instalaţiei.

1.2. Consideraţii asupra variaţiei tensiunii secundare a transformatorului

Experimentările făcute asupra unui transformator cu miezul simetric de tipul „în manta" (fig. 1) au scos în evidenţă faptul că variaţia tensiunii secundare se obţine numai cînd peria rotitoare *5* traversează suprafaţa jugurilor transformatorului, tensiunea rămînînd constantă cînd peria se găseşte în afara suprafeţelor jugului.

Considerînd că e_{sp} reprezintă tensiunea pe spiră, variaţia tensiunii Δe_{sp}, obţinută la traversarea unui jug magnetic, este egală cu $0{,}5 \cdot e_{sp}$.

Legînd cele prezentate în figura 2 se poate evidenţia existenţa a două intervale de variaţie corespunzătoare unghiurilor $\alpha_{V1} = \alpha_{V2} = \alpha_V$ (denumite unghiuri de variaţie), precum şi a două intervale de monotonie corespunzătoare unghiurilor $\alpha_{m1} = \alpha_{m2} = \alpha_m$ (denumite unghiuri demonotonie).

Se definesc, de asemenea, timpul de variaţie t_V ca fiind timpul necesar parcurgerii unui domeniu de variaţie, precum şi timpul de monotonie tm ca fiind timpul necesar parcurgerii unui domeniu de monotonie.

Considerînd T ca fiind perioada de timp necesară efectuării unei rotaţii complete a bobinajului rotitor, între aceasta şi timpii de variaţii şi monotonie se stabilesc următoarele relaţii:

$$T = t_{V1} + t_{V2} + t_{m1} + t_{m2}. \qquad (1)$$

În cazul simetriei miezului relaţia (1) devine:

$$T = 2 \cdot (t_V + t_m). \qquad (2)$$

Faptul că variaţia tensiunii pe spiră nu se obţine decît la traversarea suprafeţelor interioare ale jugurilor scoate în evidenţă, pentru cazul transformatorului studiat, următoarele aspecte:

— spira reprezintă un element indivizibil;

— variaţia tensiunii secundare în cadrul domeniului de variaţie este legată de variaţia fracţiunii pachetului de tole (aferentă jugului) înlănţuit de circuitul spirei secundare.

Urmare celor arătate, valoarea tensiunii secundare pentru o anumită poziţie a periei rotitoare este dată de formula:

$$e_{scc} = 4{,}44 \cdot f \cdot w \cdot B_{col} \cdot S_{col} + 4{,}44 \cdot f \cdot B_{jug} \cdot \Delta S, \qquad (3)$$

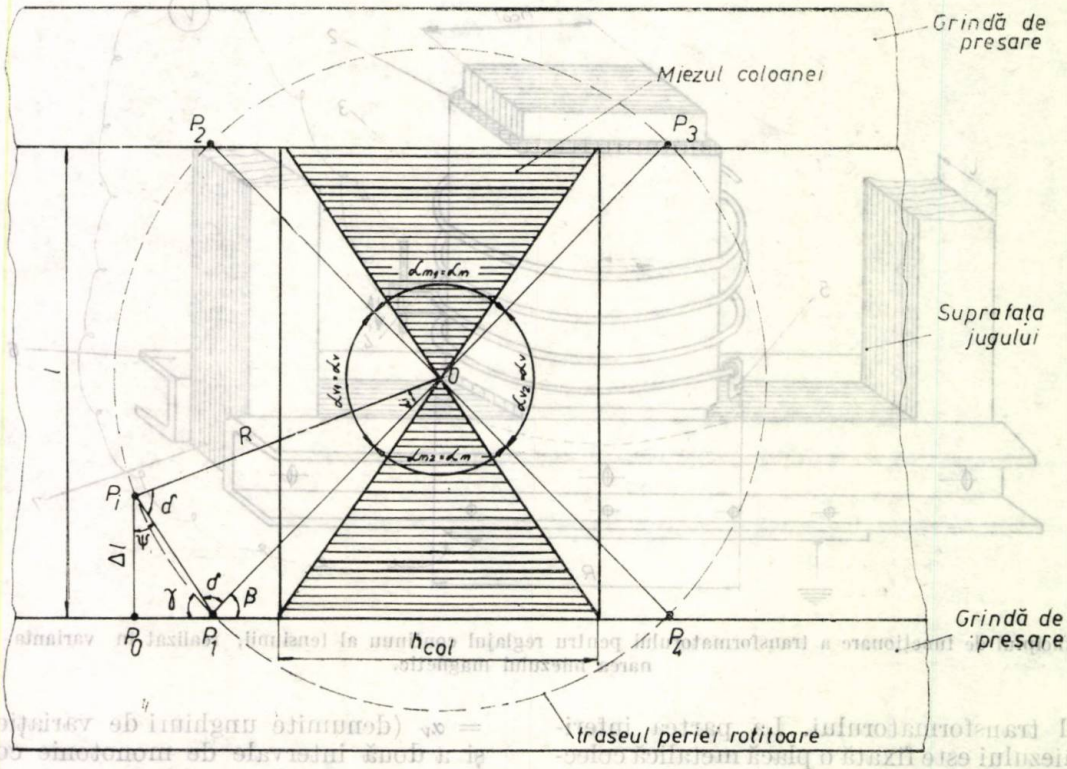


Fig. 2. Desen explicativ pentru determinarea legii de variații a tensiunii secundare a transformatorului avînd secțiunea coloanei de formă dreptunghiuară.

în care:

f este frecvența rețelei; B_{col} — inducția coloanei; S_{col} — suprafața coloanei; w — numărul de spire complete introduse în circuit; B_{jug} — inducția jugului; ΔS — fracțiunea din secțiunea jugului (determinată de poziția periei rotitoare) înlănțuită de circuitul ultimei spire, implicată în calea de curent secundară:

$$\Delta S = h_j \cdot \Delta l, \tag{4}$$

h_j — înălțimea jugului; Δl — lățimea fracțiunii pachetului de tole, înlănțuit de circuitul spirei secundare.

Avînd în vedere că lățimea pachetului de tole aferentă jugului este l și că peria rotitoare traversează ambele suprafețe interioare aferente jugurilor, rezultă că Δl variază în domeniul $0 \div 2 \cdot l$.

Considerînd un miez magnetic de timpul „în manta" cu secțiunea coloanei de forma unui patrulater regulat, se urmărește deducerea în cele ce urmează a legii de variație a tensiunii secundare în limitele unui domeniu de variație α_V.

Din figura 2 se observă că lățimea fracțiunii pachetului de tole Δl, aferent jugului și înlănțuit de circuitul secundar, este egală cu proiecția segmentului P_1P_i pe axa transversală a pachetului de tole, segmentul P_1P_i reprezentînd coarda arcului de cerc determinat de unghiul de rotație α_i pe traseul circular al periei rotitoare.

Pornind de la cele arătate și utilizînd construcția grafică din figura 2 rezultă:

$$\Delta l = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha_i}{2} \cdot \cos\left(\frac{\alpha_i - \alpha_V}{2}\right). \tag{4'}$$

Variația tensiunii secundare, la deplasarea periei rotitoare în cadrul domeniului de variație este dată de formula:

$$\Delta e_{sec} = 8{,}88 \cdot f \cdot B_{jug} \cdot h_j \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha_i}{2} \cdot \cos\left(\frac{\alpha_i - \alpha_V}{2}\right); \tag{5}$$

unde:

$$0 \leqslant \alpha_i \leqslant \alpha_V.$$

Considerînd tolele coloanei cu înălțimea h_{col} formula (4) devine:

$$\Delta e_{sec} = 4{,}44 \cdot f \cdot B_{col} \cdot h_{col} \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha_i}{2} \cdot \cos\left(\frac{\alpha_i - \alpha_V}{2}\right). \tag{6}$$

Avînd în vedere relațiile (3) și (6) rezultă formula de calcul a tensiunii secundare a trans-

formatorului, considerată la un moment oarecare:

$$e_{sec} = 4{,}44 \cdot f \cdot B_{col} \cdot \left[w \cdot S_{col} \cdot \left(1 + \frac{k_1}{2 \cdot w}\right) + \right.$$

$$\left. + h_{col} \cdot R \cdot \sin\frac{\theta_i}{2} \cdot \cos\left(\frac{\theta_i - \alpha_V}{2}\right)\right] \quad (7)$$

$$\theta_i = \alpha_i - k_2 \cdot (k_3 \cdot \alpha_i - k_4 \cdot \pi - k_5 \cdot \alpha_V),$$

unde:

k_1; k_2; k_3; k_4; k_5 sînt coeficienți ce depind de poziția periei rotitoare.

$k_1 = 0$, pentru $0 \leqslant \alpha_i < \pi$; $k_1 = 1$, pentru $\pi \leqslant \alpha_i \leqslant 2 \cdot \pi$;

$k_2 = 0$, pentru $0 \leqslant \alpha_i \leqslant \alpha_V$; $k_2 = 1$, pentru $\alpha_V < \alpha_i \leqslant 2 \cdot \pi$;

$k_3 = 0$, pentru $0 \leqslant \alpha_i \leqslant \alpha_V$; $k_3 = 1$, pentru $\alpha_V < \alpha_i \leqslant \pi$;

$k_3 = 0$, pentru $\pi < \alpha_i \leqslant \pi + \alpha_V$; $k_3 = 1$, pentru $\pi + \alpha_V < \alpha_i \leqslant 2 \cdot \pi$;

$k_4 = 0$, pentru $0 \leqslant \alpha_i < \pi$ și pentru $\pi + \alpha_V < \alpha_i \leqslant 2 \cdot \pi$;

$k_4 = 1$, pentru $\pi \leqslant \alpha_i \leqslant \pi + \alpha_V$;

$k_5 = 0$, pentru $0 \leqslant \alpha_i \leqslant \alpha_V$; $k_5 = 1$, pentru $\alpha_V < \alpha_i \leqslant \pi$;

$k_5 = 0$, pentru $\pi < \alpha_i \leqslant \pi + \alpha_V$; $k_5 = 1$, pentru $\pi + \alpha_V < \alpha_i \leqslant 2 \cdot \pi$;

α_i este valoarea instantanee a unghiului de rotație;

α_V — valoarea unghiului de variație a tensiunii.

Urmind același raționament s-a determinat formula de calcul a tensiunii secundare (considerată la un moment oarecare), pentru un transformator cu secțiunea coloanei realizată în trepte (fig. 3) și anume:

$$e_{sec} = 4{,}44 \cdot f \cdot B_{col} \cdot \left\{ w \cdot S_{col} \cdot \left(1 + \frac{k_1}{2 \cdot w}\right) + \right.$$

$$\left. + \sum_{k=1}^{i-1} \frac{h_k}{2} \cdot l_k + h_i \cdot R \cdot \left[\sin\frac{\theta_i}{2} \cdot \cos\frac{1}{2}(\theta_i \cdot \alpha_V) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \sin\frac{\theta_{i-1}}{2} \cdot \cos\frac{1}{2}(\theta_{i-1} - \alpha_V)\right]\right\},$$

unde: h_k este înălțimea pachetului de tole;
l_k — lățimea pachetului de tole;
i — numărul de trepte parcurse de peria rotitoare; w — numărul de spire complete introduse în circuit; R — raza traseului mediu al periei rotitoare.

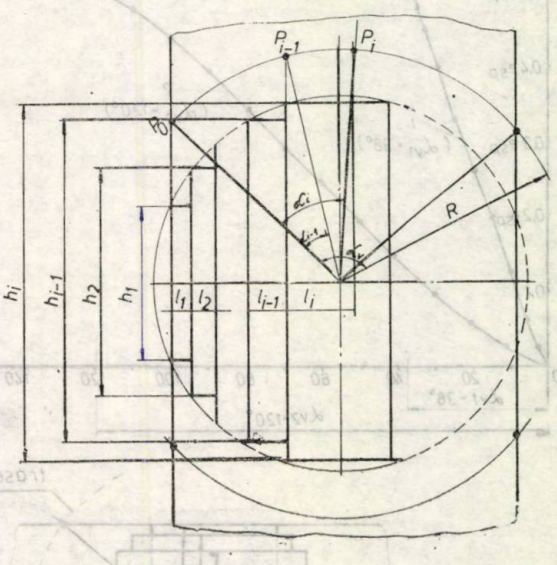


Fig. 3. Desen explicativ pentru determinarea legii de variație a tensiunii secundare a unui transformator cu coloana realizată în trepte.

Unghiurile θ_i și θ_{i-1}, precum și coeficienții k_1; k_2; k_3; k_4; k_5 au aceleași semnificații ca în cazul formulei precedente.

1.3. Considerații privind forma curbei de variație a tensiunii secundare considerată în limitele domeniului de variație

Din analiza formulei (6) rezultă caracterul neliniar al variației tensiunii secundare la parcurgerea domeniilor de variație α_V.

În figura 4 sînt reprezentate curbele $\Delta e_{sec} = f(\alpha_i)$ pentru același transformator, unde, în primul caz, domeniul de variație este $\alpha_V = 120°$, iar în al doilea caz $\alpha_V = 38°$.

Aspectul celor două curbe evidențiază clar, în afara caracterului neliniar al variației tensiunii în limitele domeniilor de variație, și faptul că pentru domenii de variație mai restrînse caracterul neliniar al curbei de variație se atenuează.

Se observă, de asemenea, faptul că panta curbei de variație $\Delta e_{sec} = f(\alpha_i)$, înregistrează valori minime la periferiile domeniului de variație și valoarea maximă în centrul acestuia. Această ultimă constatare prezintă însemnătate deosebită deoarece este implicată în precizia reglajului tensiunii secundare a transformatorului.

Urmărindu-se evidențierea influenței formei secțiunii asupra formei curbei $\Delta e_{sec} = f(\alpha_i)$ în figura 5 au fost trasate curbele de variație pentru două transformatoare cu domenii de variații egale $\alpha_V = 105°$, din care unul cu sec-

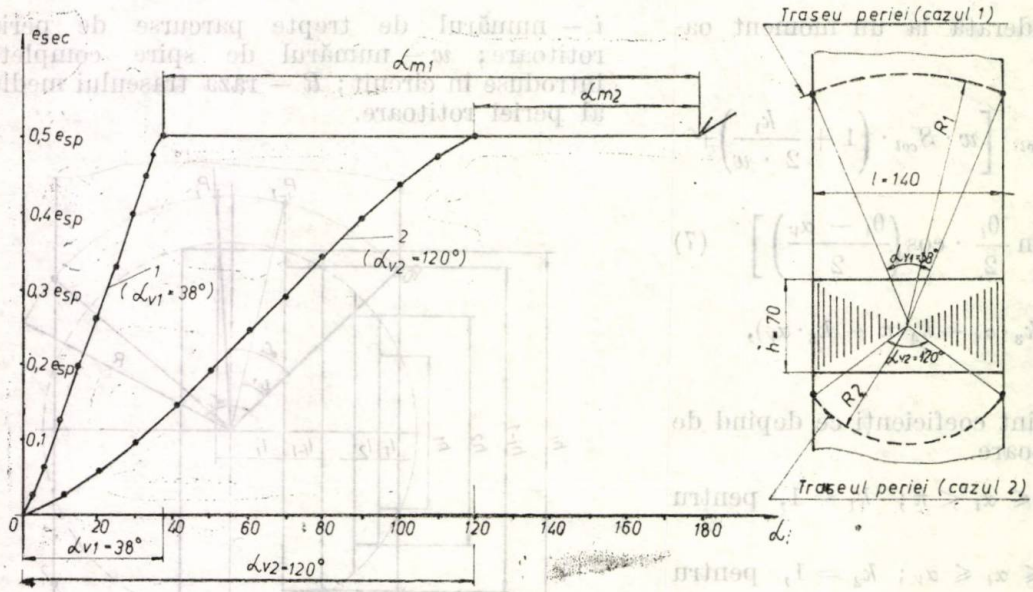


Fig. 4. Curbele de variație ale tensiunii secundare a unui transformator pentru α_p = = 38° și α_v = 120°.

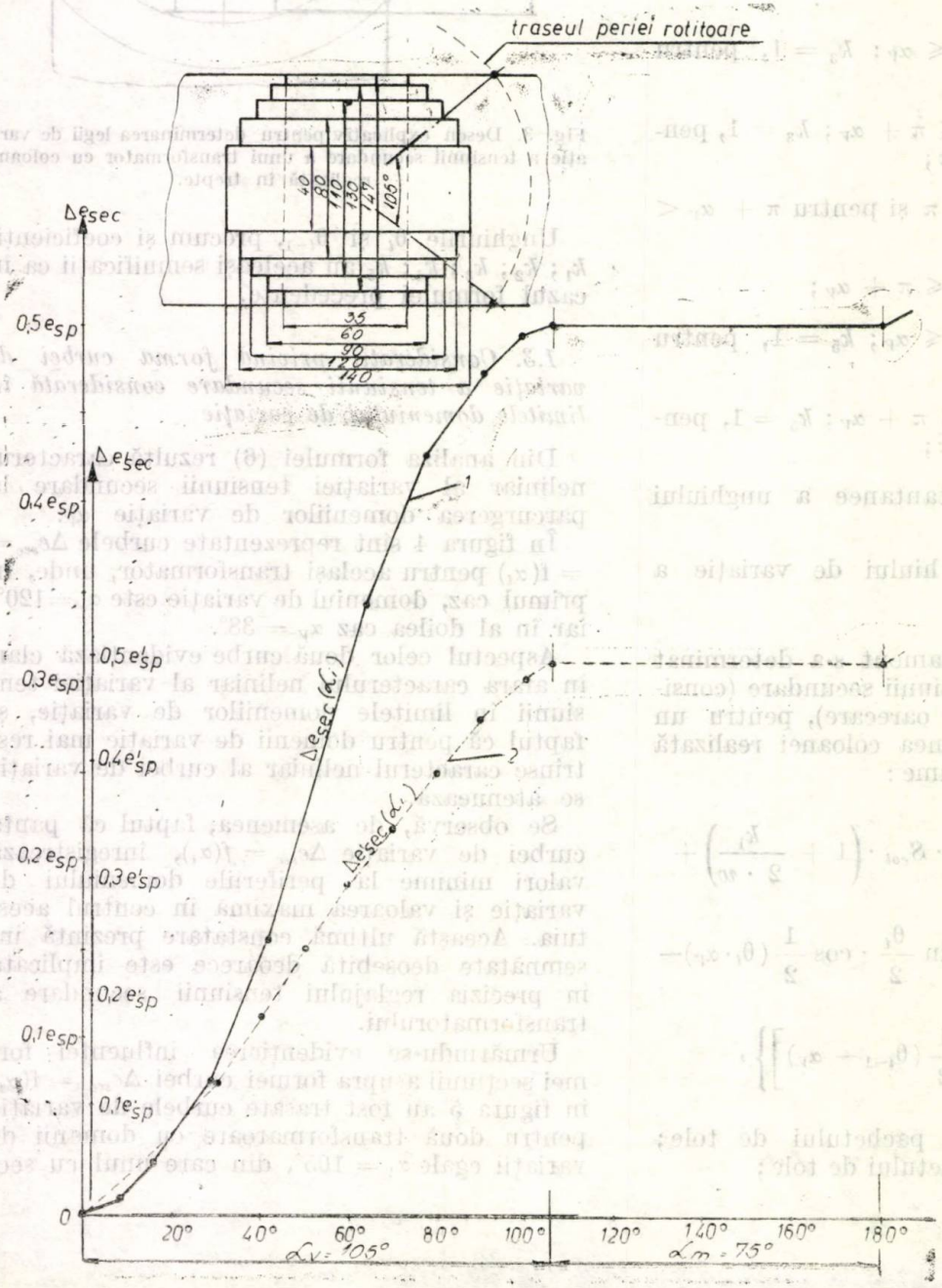


Fig. 5. Curba de variație pentru un transformator cu secțiunea în trepte. Curba de variație a unui transformator cu aceeași lățime a pachetului de tole dar cu secțiunea coloanei de formă dreptunghiulară.

țiunea coloanei realizată în trepte, iar celălalt cu secțiunea de formă dreptunghiulară.

Comparația între cele două curbe confirmă faptul că, forma secțiunii influențează forma curbei $\Delta e_{sec} = f(\alpha_i)$, constatîndu-se că pentru un transformator cu secțiunea în trepte, panta curbei de variație se modifică la trecerea de la o treaptă la alta ca urmare a variației secțiunii acestor trepte.

În figura 6 se prezintă curba de variație $\Delta e_{sec} = f(t)$ pentru un transformator cu secțiunea formată din cinci trepte. Viteza unghiulară ω_c este considerată constantă. Linia întreruptă reprezintă curba medie de variație a tensiunii secundare considerată în limitele domeniului de variație.

Pentru stabilirea legăturii între panta curbei medii de variație și pantele parțiale ale curbei reale de variație se pornește de la construcția grafică prezentată în figura 6.

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{0e'}{0e''} = \frac{e_{sp}}{2 \cdot t_V},$$

$$0e' = 0a' + a'b' + b'c' + c'd' + d'e' = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_5 = 0{,}5 \cdot e_{sp},$$

$$0e'' = 0a'' + a''b'' + b''c'' + c''d'' + d''e'' = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = t_V,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_m = \frac{e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5},$$

$$\operatorname{tg}\varphi_1 + \frac{\theta_1}{t_1}\ ;\ t_1 = \frac{e_1}{\operatorname{tg}\varphi_1} \text{ ș. a. m. d.},$$

$$\operatorname{tg}\varphi_m = \frac{e_{sp}}{2 \cdot \left(\frac{e_1}{\operatorname{tg}\varphi_1} + \frac{e_2}{\operatorname{tg}\varphi_2} + \frac{e_3}{\operatorname{tg}\varphi_3} + \frac{e_4}{\operatorname{tg}\varphi_4} + \frac{e_5}{\operatorname{tg}\varphi_5} \right)}.$$

Generalizînd pentru o secțiune cu „n" trepte rezultă:

$$\operatorname{tg}\varphi_m = \frac{e_{sp}}{2 \cdot \sum_{k=1}^{n} \frac{e_k}{\operatorname{tg} \cdot \varphi_k}}, \qquad (9)$$

unde e_k reprezintă tensiunea electromotoare corespunzătoare treptei „k" a secțiunii coloanei.

Ipotetic, există mai multe posibilități de ameliorare a formei curbei de variație a tensiunii, una din acestea constituind-o rotirea bobinajului secundar cu viteza unghiulară variabilă. Variația vitezei unghiulare care se impune a avea loc în cadrul domeniului de variație trebuie să urmeze o lege care să compenseze neuniformitățile de pantă asigurînd ast-

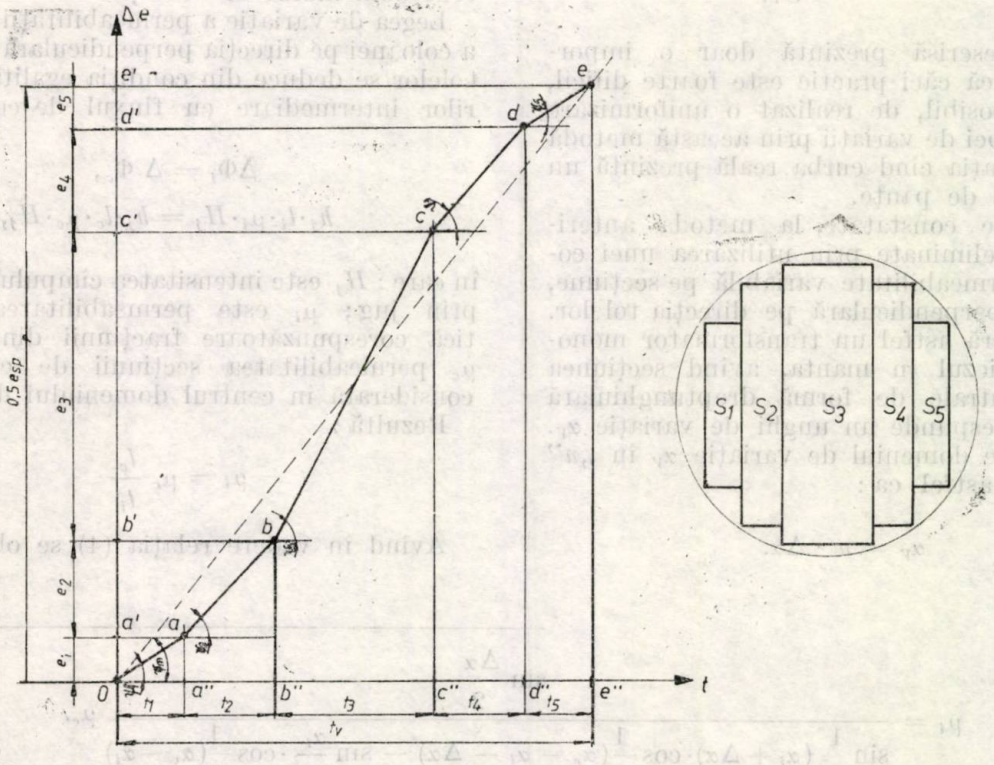


Fig. 6. Desen explicativ pentru stabilirea legăturii dintre panta medie și pantele parțiale ale curbei de variații ale tensiunii secundare, considerată în domeniul de variație.

fel identitatea sau cvasiidentitatea dintre curba reală și curba medie de variație a tensiunii.

Se ia în considerație de asemenea curba de variație $\Delta e_{sec} = f(t)$ din figura 6, obținută cînd bobinajul secundar este rotit cu viteză unghiulară constantă:

$$\omega_c = \frac{\pi}{t_V + t_m}. \tag{10}$$

Pentru modificarea pantei curbei de variație de la $\mathrm{tg}\,\varphi_1$ la $\mathrm{tg}\varphi_m$ este necesară modificarea vitezei unghiulare de la valoarea ω_c la ω_{V1}.

Știind că:

$$\mathrm{tg}\varphi_1 = \frac{e_1}{t_1} \quad t_1 = \frac{\Delta\alpha}{\omega_c},$$

$$\mathrm{tg}\varphi_i = \frac{e_1 \cdot \omega_c}{\Delta\alpha}; \quad \mathrm{tg}\varphi_m = \frac{e_1 \cdot \omega_{V1}}{\Delta\alpha},$$

rezultă:

$$\omega_{V1} = \omega_c \cdot \frac{\mathrm{tg}\varphi_m}{\mathrm{tg}\varphi_1}. \tag{11}$$

Generalizînd, rezultă că pentru modificarea unei pante oarecare de la valoarea $\mathrm{tg}\varphi_i$ la valoarea $\mathrm{tg}\varphi_m$ este necesară acționarea bobinajului rotitor cu viteza unghiulară ω_{Vi}, dată de formula:

$$\omega_{Vi} = \omega_c \cdot \frac{\mathrm{tg}\varphi_m}{\mathrm{tg}\varphi_i}. \tag{12}$$

Soluția descrisă prezintă doar o importanță teoretică căci practic este foarte dificil, aproape imposibil, de realizat o uniformizare a pantei curbei de variații prin această metodă chiar în situația cînd curba reală prezintă un număr redus de pante.

Deficiențele constatate, la metoda anterioară, pot fi eliminate prin utilizarea unei coloane cu permeabilitate variabilă pe secțiune, în direcția perpendiculară pe direcția tolelor.

Se consideră astfel un transformator monofazat cu miezul în manta, avînd secțiunea coloanei centrale de formă dreptunghiulară căreia îi corespunde un unghi de variație α_V.

Se împarte domeniul de variație α_V în „n" părți egale astfel ca:

$$\alpha_V = n \cdot \Delta\alpha.$$

Fiecărei fracțiuni unghiulare $\Delta\alpha$ îi va corespunde o fracțiune ΔS_i din secțiunea jugului:

$$\Delta S_i = h_j \cdot \Delta l_i,$$

în care: h_j este înălțimea tolelor jugului; Δl_i este variația lățimii pachetului de tole aferent jugului la variația unghiului de rotație α_i cu valoarea $\Delta\alpha$:

$$\Delta l_i = 2 \cdot R \cdot \left[\sin\frac{1}{2}(\alpha_i + \Delta\alpha) \cdot \cos\frac{1}{2}(\alpha_V - \alpha_i - \Delta\alpha) - \sin\frac{\alpha_i}{2} \cdot \cos\frac{1}{2}(\alpha_V - \alpha_i) \right].$$

Se consideră o secțiune de comparație:

$$\Delta S_c = h_j \cdot l_c,$$

unde l_c este coarda arcului de cerc determinat de variația unghiulară pe cercul de rază R, ce reprezintă traseul circular al periei rotitoare:

$$l_c = 2 \cdot R \cdot \sin\frac{\Delta\alpha}{2},$$

$$\Delta S_c = 2 \cdot h_j \cdot R \cdot \sin\frac{\Delta\alpha}{2}.$$

Trebuie arătat că la rotația bobinajului rotitor secundar cu fracțiuni unghiulare $\Delta\alpha$, egalitatea $\Delta S_i = \Delta S_c$ se obține numai în centrul domeniului de variație.

Legea de variație a permeabilității magnetice a coloanei pe direcția perpendiculară pe direcția tolelor se deduce din condiția egalității fluxurilor intermediare cu fluxul de comparație:

$$\Delta\Phi_i = \Delta\,\Phi_c,$$

$$h_j \cdot l_i \cdot \mu_i \cdot H_j = h_j \cdot l_c \cdot \mu_c \cdot H_j,$$

în care: H_j este intensitatea cîmpului magnetic prin jug; μ_i este permeabilitatea magnetică corespunzătoare fracțiunii din secțiune; μ_c permeabilitatea secțiunii de comparație, considerată în centrul domeniului de variație.

Rezultă:

$$\mu_i = \mu_c \frac{l_c}{l_i}. \tag{13}$$

Avînd în vedere relația (4) se obține:

$$\mu_i = \frac{\sin\frac{\Delta\alpha}{2}}{\sin\frac{1}{2}(\alpha_i + \Delta\alpha) \cdot \cos\frac{1}{2}(\alpha_v - \alpha_i - \Delta\alpha) - \sin\frac{\alpha_i}{2} \cdot \cos\frac{1}{2}(\alpha_v - \alpha_i)} \mu_c. \tag{14}$$

Trebuie remarcat faptul că între secțiunea geometrică S_g, realizată cu μ_i variabil și secțiunea echivalentă S_e realizată cu tole cu permeabilitatea magnetică constantă, aferentă secțiunii de comparație, există o diferență de valoare și formă:

$$S_g < S_e. \tag{15}$$

În figura 8 se reprezintă forma secțiunii geometrice S_g și a secțiunii echivalente S_e.

Aceeași metodă poate fi utilizată în scopul uniformizării pantei curbei de variație a tensiunii secundare pentru un transformator cu secțiunea în trepte (figura 7).

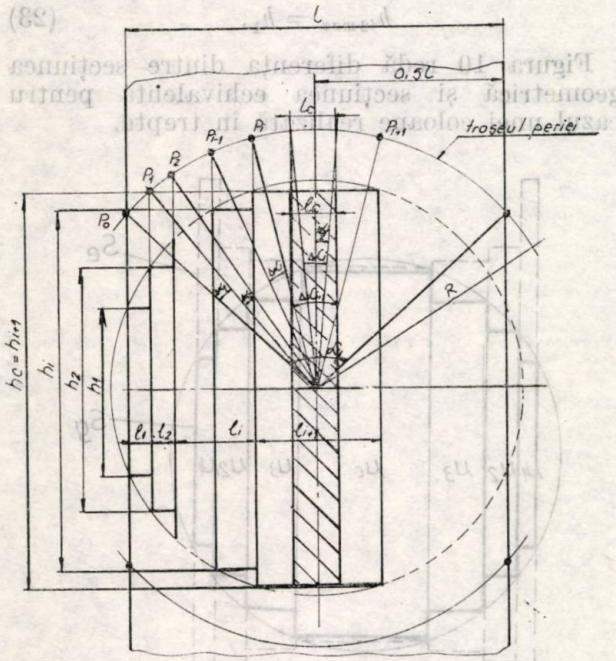


Fig. 7. Desen explicativ pentru determinarea legii de variație a permeabilității magnetice a coloanei transformatorului în scopul liniarizării curbei de variație a tensiunii secundare.

Se observă că pentru fiecare treaptă a secțiunii coloanei corespunde o variație unghiulară $\Delta\alpha_i$ astfel încît pentru o coloană cu „n" trepte se poate scrie relația:

$$\alpha_c = \sum_{i=1}^{n} \Delta\alpha_i. \tag{16}$$

Pentru stabilirea legii de variație a permeabilității magnetice pe cele „n" trepte ale secțiunii se impune, de asemenea, condiția egalității dintre fiecare flux intermediar Φ_i, și fluxul Φ_{ci} de comparație, aferent unei trepte a secțiunii.

În scopul definirii fluxurilor de comparație se consideră cîte o secțiune de comparație ΔS_{ci} pentru fiecare treaptă a secțiunii:

$$\Delta S_{ci} = h_c \cdot l_{ci},$$

unde: h_c este înălțimea coloanei centralei; l_{ci} — valoarea corzii de cerc determinată de variația unghiulară $\Delta\alpha_i$ (corespunzătoare treptei i), pe cercul de rază R ce reprezintă traseul mediu al periei rotitoare.

Din egalitatea fluxurilor intermediare Φ_i și al celui de comparație rezultă:

$$h_i \cdot l_i \cdot \mu_i \cdot H = 2 \cdot h_c \cdot R \cdot \sin\frac{\Delta\alpha_i}{2} \cdot \mu_c \cdot H,$$

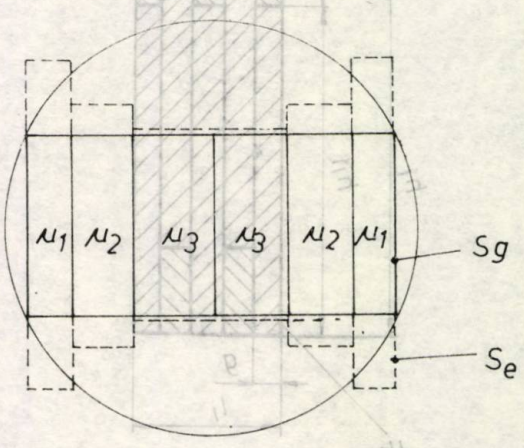


Fig. 8. Comparație între suprafața coloanei realizată din pachete de tole cu permeabilități magnetice diferite și secțiunea echivalentă a unei coloane realizată cu tole magnetice de aceeași permeabilitate.

$$\mu_i = \mu_c \cdot \frac{2 \cdot h_c \cdot R \cdot \sin\frac{\Delta\alpha_i}{2}}{h_i \cdot l_i}. \tag{17}$$

Considerînd cazul particular cînd:

$$\Delta\alpha_1 = \Delta\alpha_2 = \Delta\alpha_i = \ldots \Delta\alpha_n = \Delta\alpha,$$

rezultă:

$$\mu_i = \mu_c \cdot \frac{2 \cdot h_c \cdot R \cdot \sin\frac{\Delta\alpha}{2}}{h_i \cdot l_i}. \tag{18}$$

Uniformizarea pantei curbei de variație prin utilizarea mai multor materiale magnetice cu permeablitate diferită (cîte unul pentru fiecare pereche de trepte aferentă secțiunii coloanei) ridică probleme tehnologice deosebite.

Pentru eliminarea deficienței arătate, autorul recomandă metoda utilizării tolelor combinate formate din două fișii de tablă feromagnetică cu permeabilitățile μ_{i1} și μ_{i2} ($\mu_{i1} < \mu_{i2}$) în care permeabilitatea magnetică rezultantă μ_i depinde de proporția în care sînt combinate cele două fișii de tablă, respectiv de raportul dintre cotele h_{i1} și h_{i2} aferente celor două fișii (figura 9).

Combinația fișiilor de tablă se dispune alternat în cadrul pachetului de tole, așa cum arată figura 9, în scopul realizării unei repartiții simetrice a fluxului principal pe cele două juguri ale miezului.

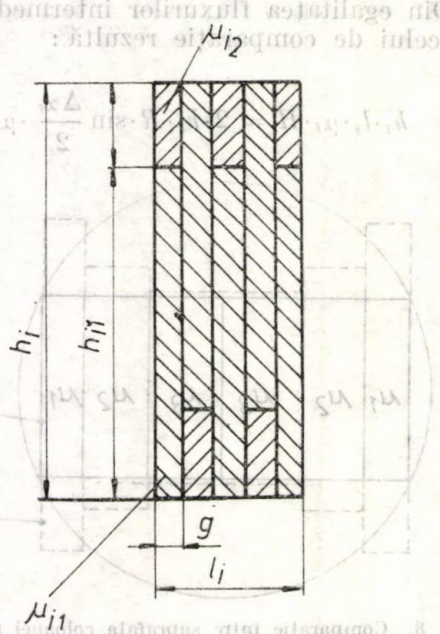


Fig. 9. Pachet de tole feromagnetice realizat din combinația a două materiale magnetice cu permeabilități diferite (vedere în secțiune).

Legătura dintre permeabilitatea globală μ_i și permeabilitățile parțiale μ_{i1} și μ_{i2} rezultă din egalitatea dintre fluxul global și suma fluxurilor parțiale Φ_{i1} și Φ_{i2} aferente tolei combinate:

$$\Phi_i = \Phi_{i1} \, \delta \, \Phi_{i2}. \tag{19}$$

Relația 19 explicită devine:

$$\mu_i \cdot h_i \cdot g \cdot H = \mu_{i1} \cdot h_{i1} \cdot g \cdot H + \mu_{i2} \cdot h_{i2} \cdot g \cdot H,$$

cu g grosimea tolei;

$$\mu_i = \frac{\mu_{i1} \cdot h_{i1} + \mu_{i2} \cdot h_{i2}}{h_i}. \tag{20}$$

Considerînd că $\mu_{i1} = \mu_c$ (permeabilitatea cunoscută aferentă secțiunii de comparație și că $\mu_{i1} < \mu_{i2}$ se cere a găsi condițiile impuse materialului cu permeabilitate μ_{i2} pentru a putea fi utilizat în combinații cu materialul cu permeabilitatea μ_c în scopul uniformizării curbei de variație a tensiunii secundare.

Considerînd că cea mai mică treaptă a secțiunii se realizează numai cu materialul de permeabilitate magnetică μ_{i2} condiția urmărită se deduce din relația:

$$\Phi_1 = \Phi_{c1}, \tag{21}$$

în care: Φ_1 este fluxul aferent treptei cu s secțiunea minimă; Φ_{c1} fluxul de comparație aferent treptei 1, de unde rezultă relația (18):

$$\mu_{i1} \geq \mu_c \cdot \frac{2 \cdot h_c \cdot R \cdot \sin \frac{\Delta\alpha_1}{2}}{h_1 \cdot l_1}, \tag{22}$$

h_1; l_1 sînt dimensiunile secțiunii treptei minime; $\Delta\alpha_1$ variația unghiulară corespunzătoare parcurgerii treptei cu secțiunea minimă.

Din examinarea relațiilor anterioare rezultă dimensiunea maximă posibilă a fișiilor de tablă confecționate din materialul cu permeabilitate μ_{i2}:

$$h_{i2\,max} = h_1. \tag{23}$$

Figura 10 redă diferența dintre secțiunea geometrică și secțiunea echivalentă pentru cazul unei coloane realizată în trepte.

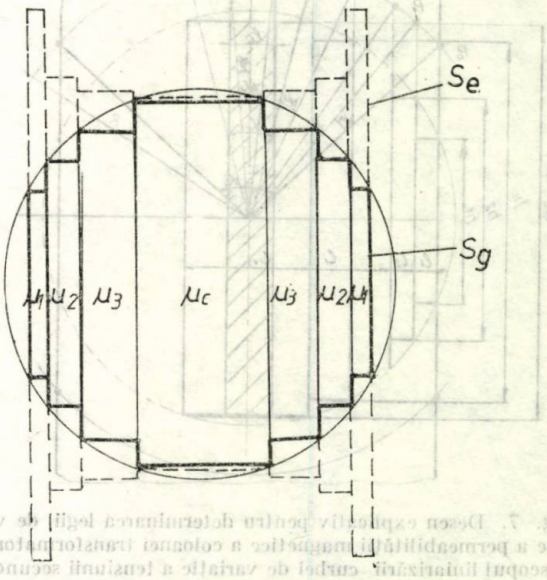


Fig. 10. Comparația între suprafața coloanei unui transformator realizat în trepte cu permeabilități magnetice diferite și secțiunea echivalentă a unei coloane realizată cu tole magnetice de aceeași permeabilitate.

La calculul tensiunii pe spiră, atît în cazul transformatorului cu secțiunea dreptunghiulară sau pătrată, cît și în cazul celor cu secțiunea realizată în trepte, se va lua în considerație secțiunea echivalentă cu permeabilitate magnetică μ_c.

Concluzii

Transformatorul analizat este destinat reglajului în sarcină al tensiunii prezentînd avantajul față de dispozitivele cunoscute, că miezul magnetic aferent nu prezintă întrefieruri.

Se constată că miezul magnetic nu diferă cu nimic față de tipurile clasice de transformatoare.

Elementele noi pe care le conține această variantă constructivă se referă în primul rînd la sistemul colector, unde tolele jugului inferior sînt implicate în calea de curent secundară.

Deși experimentările făcute asupra unui transformator de 10 kVA, 380/100 V au scos în evidență comportarea bună a sistemului colector, este posibil ca la puteri mai mari, peste 100 kVA, să apară fenomene de încălzire a tolelor implicate în circuitul secundar.

Acest impediment va putea fi rezolvat prin adoptarea unei secțiuni dreptunghiulare pentru coloană, în care caz înălțimea jugului se va reduce substanțial. În situația arătată atît curenții parazitari de scurtcircuit, determinați de poziția periei colectoare cît și rezistența căii de curent prin tola implicată în circuit vor fi reduse corespunzător.

Bibliografie

[1] *Zana, St. Ghe.* Transformator monofazat reglabil continuu. Brevet RSR 52906.

[2] *Natrașevschi, A.* Transformator pentru varierea continuă a tensiunii RSR. 53352.

[3] *Cernomazu, D.* și colectiv. Transformator cu reglaj continuu al tensiunii sub sarcină. Brevet RSR 67620.

[4] *Cernomazu, D.* Transformator cu reglaj continuu al tensiunii sub sarcină. Brevet RSR 72366.

[5] *Cernomazu, D.* Transformator cu reglaj continuu al tensiunii sub sarcină. Brevet RSR 74508.

[6] *Cernomazu, D.* Transformator pentru reglajul continuu al tensiunii. Brevet RSR 83378.

[7] *Petrov, G. N.* Elektriceskie mașini. Moskovo-Gosenergoizdat — 1963.

[8] *Raupach, F.* Un nou transformator pentru rețelele trifazate. În: ELECTRIZITÄTSWIRTSCHAFT nr. 24 dec. 1962.

[9] *Foster, T.* Reglajul tensiunii sub sarcină pînă la 3 000 kVA În: Engineering, 197 nr. 5108, 13, martie 1967.

[10] *Lazu, C.* Mașini electrice. Editura didactică și pedagogică. București 1966.

[11] *Dordea, T.* Mașini electrice. Editura didactică și pedagogică. București 1977.

[12] x x x Sisteme de reglare automată sub sarcină a transformatoarelor de putere-culegere documentară I.D.T. 1967.

[13] x x x Sisteme de comutație automată a prizelor la transformatoare. Culegere IDT-1963.

Recenzie

FLORIN POP: **ECHIPAMENTUL ELECTRIC AL CLĂDIRILOR.** (262 p. editura Dacia, Cluj-Napoca, 1984)

Lucrarea prezintă problematica de bază legată de proiectarea, construcția și exploatarea rațională a instalațiilor electrice care deservesc clădirile industriale, social-administrative sau de locuit. În acest cadru larg lucrarea se adresează deopotrivă specialiștilor din practica construcțiilor industriale și învățămînt sau proiectare, studenților și tuturor celor interesați în cunoașterea echipamentului electric al clădirilor, constituind un instrument de lucru deosebit de util.

Din punct de vedere al organizării materialului, cartea are o structură logică, prima parte fiind consacrată caracteristicilor generale ale echipamentului electric al clădirilor, după care autorul abordează problema instalațiilor electrice de iluminat și prize, punînd accent pe aspectul practic și de proiectare. În aceeași manieră se tratează tematica capitolului legat de instalațiile electrice de forță.

Lucrarea cîștigă și prin faptul că cititorul este avizat în legătură și cu instalațiile de telecomunicație interioară (telefon, dispecerat, interfon, ceasoficare, radioamplificare și antenă comună, semnalizarea incendiilor).

În continuare sînt abordate problemele de calcul al rețelelor de distribuție, de joasă tensiune, la consumator, care se extind, în final, asupra modului de alegere a conductoarelor dimensionarea și verificarea secțiunii acestora, precum și asupra alegerii, dimensionării și verificării aparatelor de protecție.

După epuizarea aspectelor legate de proiectare sînt prezentate principalele elemente tehnologice referitoare la execuția instalațiilor electrice interioare de joasă tensiune, cît și elementele esențiale privind protecția personalului împotriva electrocutărilor. Ținînd seama că în ansamblul lor, instalațiile electrice ale clădirilor reprezintă consumatori de energie electrică, lucrarea scoate în evidență, în final, măsuri pentru economisirea energiei electrice și compensarea factorului de putere.

La baza lucrării stă un material bibliografic vast și de dată recentă, remarcîndu-se, alături de contribuțiile autorului, multe standarde și acte normative care reglementează proiectarea, construcția și exploatarea instalațiilor electrice ale clădirilor, fapt ce conferă cărții un caracter aplicativ nemijlocit.

În ansamblul său, cartea este redactată într-o manieră clară ce o face utilă unui cerc larg de cititori interesați, iar prin structura ei vine să acopere o lacună în literatura de specialitate din domeniu.

Dr. ing. *Radu Munteanu*
Institutul politehnic Cluj-Napoca

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini, apare în cadrul Institutului de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru electrotehnică (I.C.P.E.). Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90 int. 475 şi 695, plata abonamentelor făcîndu-se prin mandate poştal pe adresa: I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 3016.60.501 BN R.S.R., filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii, ca şi pentru persoane particulare este de 120 lei; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA şi AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export-import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001. — Telex 01.12.26

Tiparul: Întreprinderea „Informaţia“ Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 1268

1986 JAN 3 0

E 2010/1

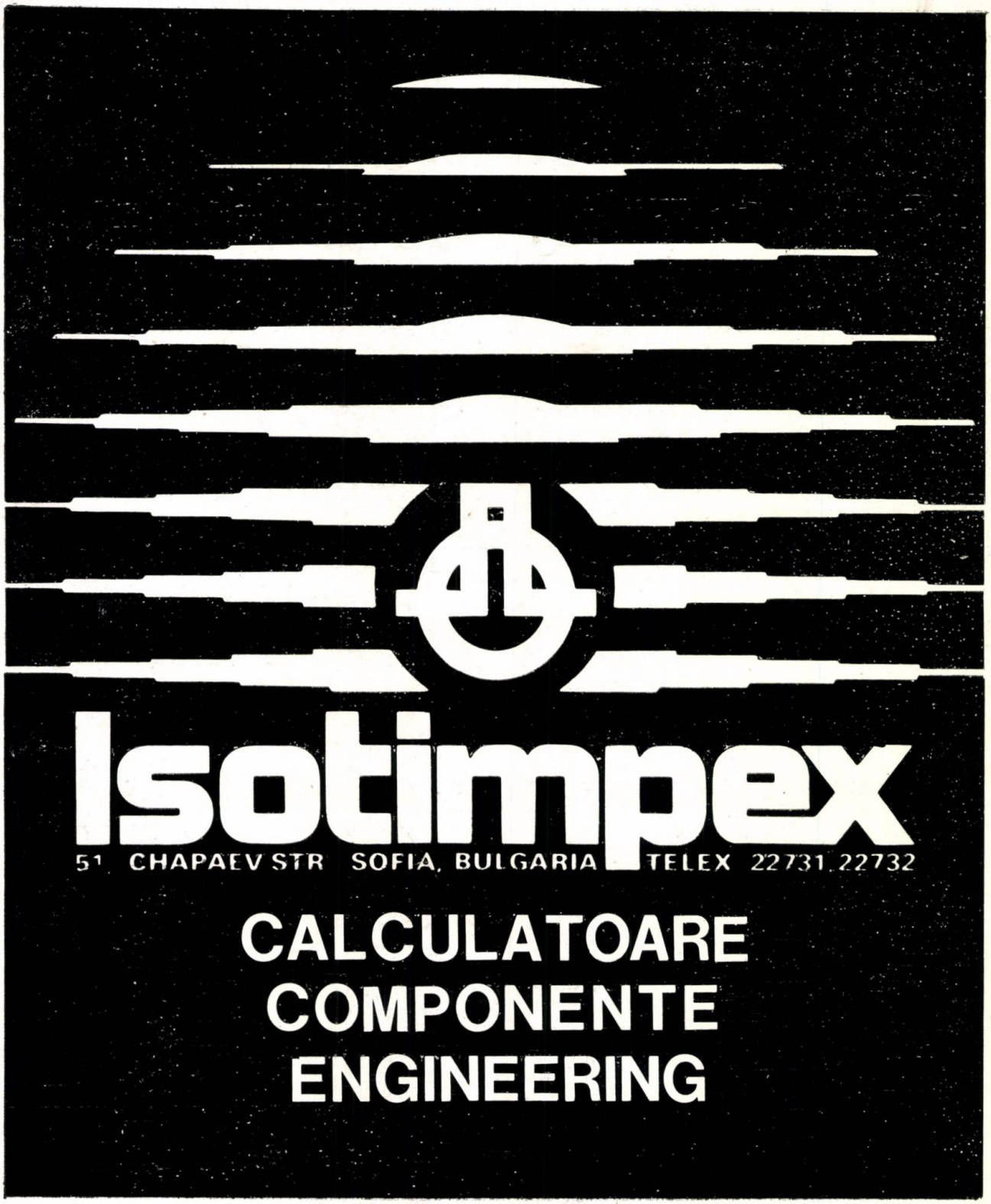
R 1985 SEP 1 2

REFERÁLVA

Elektrotech

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 33 • NR. 6 • AUGUST 1985


Isotimpex
51 CHAPAEV STR SOFIA, BULGARIA TELEX 22731, 22732
CALCULATOARE
COMPONENTE
ENGINEERING

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ȘI AUTOMATICA

Anul 33 Nr. 6 august 1985

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 621.318.3 : 621.3.013.1

CÎMP ELECTROMAGNETIC
METODA ELEMENTELOR FINITE

Puşcaşu, S., Cârstea, I. T. : **Calculul numeric al cîmpului electromagnetic nestaţionar utilizînd metoda elementelor finite.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 231

În lucrare se abordează calculul numeric al cîmpului electromagnetic nestaţionar, utilizînd metoda elementului finit pentru discretizarea spaţială. Discretizarea temporală se face pe baza producerii Crank-Nicholson.

CZ 536.53 :

TRADUCTOARE HALL
TERMOMETRE METALICE

Heler, A. : **Posibilitatea realizării unor termometre metalice cu dilataţii şi traductor Hall.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 236

Se prezintă sumar termometrele metalice cu dilataţie, care sînt traductoare mecanice ce transformă variaţia de temperatură într-o deplasare liniară sau o variaţie de unghi. Se descriu traductoarele Hall de deplasare liniară şi de unghi, demonstrîndu-se posibilitatea realizării unor termometre metalice cu dilataţie şi traductor Hall. Se dau rezultatele experimentale obţinute cu traductoarele Hall din materiale indigene.

Z 621.313 : 621.3.044

MAŞINI ELECTRICE MARI
ÎNCĂLZIREA ROTORULUI

Curiac, P., Gârbea, D., Popescu, D. : **Încălzirea rotorului în regimul de scurtcircuit al motorului de inducţie.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 240

Aplicînd metoda elementelor finite s-a realizat un program automat de calcul al încălzirii rotorului blocat al motorului de inducţie. Rezultatele calculului sînt prezentate comparativ cu cele determinate experimental pe un model fizic.

CZ 621.316

ELEMENTE ELECTRONICE DE AUTOMATIZARE
BUNURI DE LARG CONSUM ELECTROTEHNICE

Miron, D., Niculae, D., Preoteşescu, E. : **Contribuţii privind realizarea de elemente de automatizare electronice pentru bunuri de larg consum şi implicaţiile asupra funcţionării acestora.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 247

Se descrie un dispozitiv electronic de comandă pentru maşina automată de spălat rufe, care să asigure obţinerea unor regimuri optime de funcţionare.

CZ 621.318.3 : 538.244.2 : 538.26

ELECTROMAGNET DE C.C.
DEPENDENŢA FLUX-CURENT
FLUXMETRU ELECTRONIC

Niţu, S., Buzoianu, E. : **Verificare experimentală a schemei magnetice echivalente de tip serie pentru electromagneţii de curent continuu.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 251

Se prezintă rezultatele teoretice şi experimentale privind variaţia fluxului în întrefierul de lucru, funcţie de curentul de excitaţie şi deplasarea armăturii mobile, pentru un electromagnet de curent continuu.

CZ 681.7 : 621.3.042

MAŞINĂ DE CURENT CONTINUU
CIRCUIT MAGNETIC

Drăgănescu, O. : **Metodologie pentru studiul experimental al maşinii de curent continuu.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug. 1985, p. 259

Se examinează o metodologie pentru studiul experimental al maşinii de curent continuu, caracterizată prin utilizarea unor spire-sondă amplasate în diverse porţiuni ale circuitului magnetic, precum şi a unor transformatoare de curent, de construcţie specială, introduse în înfăşurarea rotorului.

CZ 621.3.012.8 : 535.89

CIRCUITE REZISTIVE NELINIARE
LIMITE DE VARIAŢIE

Spinei, F., Ioneseu, G. : **Stabilirea unui domeniu limitat de variaţie pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare rezistive.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 267

Se justifică existenţa unui domeniu limitat de variaţie pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare rezistive, care se pot utiliza la : iniţializarea metodelor iterative, micşorarea volumului de calcul al analizei combinatoriale ş.a.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. ing. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei R. S. România ; prof. dr. ing. C. APETREI ; acad. dr. doc. şt. tehn. ing. A. AVRAMESCU ; ing. I. BATRÎNA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. N. BOŢAN ; dr. ing. C. BULUCEA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. V. CEOCĂONICĂ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. T. DORDEA ; prof. dr. ing. M. DRAGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HÂNGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G .HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; prof. dr. ing. S. PUŞCAŞU ; ing. M. SÎRBU ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI

Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.318.3 : 621.3.013.1

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ
МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Пушкашу, С., Кырстя, И. Т.: **Численный расчёт электромагнитного нестационарного поля, используя метод конечных элементов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33,** № 6, август 1985 г., стр. 231

В работе преставляется численный расчёт электромагнитного нестационарного поля, используя метод конечного элемента для пространственной дискретизации. Временная дискретизация проводится на основе документов Крванка-Николсона.

УДК 53.563 :

ДАТЧИКИ ГАЛЛА
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Хелер, А.: **Возможность выполнения некоторых металлических термометров с расширениями и датчиком типа Галла.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33,** № 6, август 1985 г., стр. 236

Кратко представляются металлические термометры с расширением, которые являются металлическими датчиками, преобразующими вариацию температуры в линейном перемещениищ или угольную вариацию. Описываются датчики типа Галла линейного и угольного перемещений, показывая возможность выполнения некоторых металлических термометров с расширением и датчиком типа Галла. Представлены экспериментальные результаты, при помощи датчиков типа Галла местных материалов.

УДК 621.313 : 621.3.044

МОЩНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ПОГРЕВА РОТОРА

Куриак, П., Гырбеа, Д., Попеску, Д.: **Разогрев ротора в короткозамкнутом режиме индукционного двигателя.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33,** № 6, август 1985 г., стр. 240

Применяя метод конечных элементов, разработана автоматическая программа для расчёта разогрева блокированного ротора индукционного двигателя. Результаты приводятся в сопоставлении с экспериментально определенными данными, полученными на физической модели.

УДК 621.316

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ТОВАРЫ ШИРОКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ

Мирон, Д., Никулае, Д., Преотешеску, Е.: **Содействия к выполнению электронных элементов автоматизации для товаров широкого потребления и прикосновенности по их работе.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33,** № 6, август 1985 г., стр. 247

Описывается прибор электронный для управления автоматической стиральной машиной, обеспечивающей некоторые оптимальные режимы работы.

УДК 621.318.3 : 538.244 : 538.26

ЭЛЕКТРОМАГНИТ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ЗАВИСИМОСТЬ ПОТОК-ТОК
ЭЛЕКТРОННЫЙ ФЛЮКСМЕТР

Ницу, С., Бузояну, Е.: **Экспериментальная проверка магнитной эквивалентной схемы серийного типа для электромагнитов постоянного тока.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33,** № 6, август 1985 г., стр. 251

Представляются теоретические и экспериментальные результаты по изменению потока в рабочем промежутке, в зависимости от тока возбуждения и перемещения подвижной арматуры для одного электромагнита постоянного тока.

УДК 681.7 : 621.3.042

МАШИНА ПОСТОЯННГОГО ТОКА
МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ

Дрэгэнеску, О: **Методика для экеперимента́льного изучения машины постоянного тока.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33,** № 6, август 1985 г., стр. 259

Рассматривается методика по экспериментальному изучению машины постоянного тока, характеризованной исполнением некоторых витков—зондов, расмещенных в разных участках магнитной цепи, а также и некоторых преобразователей тока специальной конструкции, введенных в обмотке ротора.

УДК 621.3.012.8 : 535.89

НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЗИСТИВНЫЕ ЦЕПИ
ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ

Спиней, Ф., Попеску, Г.: **Установление ограниченной области изменения для управляющих величин нелинейных резистивных элементов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 33,** № 6, август 1985 г., стр. 267

Устанавливается ограниченная область изменения для управляющих величин нелинейных резистивных элементов которые употребляются при разных задачах: выбор начальных вэличин для итеративных методов, уменьшение времени счёта комбинаторного анализа, и т.д.

INHALT

DK 621.318.3 : 621.3.013.1

ELEKROMAGNETISCHES FELD
METHODE DER FINITEN ELEMENTE

Puşcaşu, S., Cârstea, I. T. : **Die zahlenmässige Berechnung des nichtstationären elektromagnetischen Felds mit der Amvendung der Methode der finiten Elemente.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 6, Aug 1985, p. 231

In der Arbeit wird die zahlenmässige Berechnung des nichtstationären elektromagnetische Feldes erörtert, mit der Amvendung der Methode des finiten Elements für die räumliche Diskretisierung. Die zeitliche Diskretisierung wird aufgrund des Crank-Nicholson-verfahrens durchgeführt.

DK 536.53 :

HALL-GEBER
METALLTHERMOMETER

Heler, A. : **Die Möglichkeit der Realisierung von Metallthermometern mit Dilatationen und Hall-Geber.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 6, Aug 1985, p. 236

Es werden die Metallthermometer mit Dilatation kurz dargestellt, welche eigentlich mechanische Geber sind die Temperaturänderung in eine lineare Fortbewegung oder in einer Winkelverschielung umwandeln. Es werden die Hall-Geber mit linearer Fortbewegung und Winkelverschielung beschrieben, indem die Möglichkeit der Realisierung von Metallthermometren mit Dilatation und Hall-Geber. Es werden die experimentellen Ergebnisse, mit den Hall-Gebern aus inländischen Materialien erlaugten.

DK 621.313 : 621.3.004

GROSSE ELEKTROMASCHINEN
ROTORERWÄRMUNG

Curiac, P., Gârbea, D., Popescu, D. : **Rotorerwärmung bein Induktionsmotorkurzschluss.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, Aug 1985, p. 240

Durch Auwendung der Methode der finiten Elemente wurde für einen Induktionsmotor ein selbstätiges Berechnungsprogramm der Erwärmung des blockierten Läufers erzielt. Die dadurch erhaltenen Ergebnisse wurden mit den experimentellen Untersuchungen auf einem Vorsuchmodell verglichen.

DK 621.316

ELEKTRONISCHE AUTOMATISIERUNGSELEMENTE
ELEKTROTECHNISCHE KONSUMGÜTER

Miron, D., Niculae, D., Preoteşescu, E. : **Beiträge zur Realisierung von elektronischen Automatisierungselementen für Konsumgüter und die Auswirkungen auf deren Funktionierung.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, Aug 1985, p. 247

Es wird eine elektronische Steuervorrichtung für die selbstätige Waschmaschine beschrieben, die das Erhalten von optimalen Betrieben schern soll.

DK 621.318.3 : 538.244.2 : 538.26

GLEICHSTROM-ELEKTROMAGNET
DIE ABHÄNGIGKEIT FLUSS-STROM
ELEKTRONISCHER FLUSSMESSER

Nifu, S., Buzoianu, E. : **Die experimentalle Prüfung des äquivalenten magnetischen Schemas vom Serientyp für die Gleichstrom-Elektromagneten.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, Aug 1985, p. 251

Es werden die theoretischen und experimentellen Ergebnisse betreffs der Flussänderung im Arbeitsluftsplat, in Abhängigkeit vom Erregerstrom und vom Weg der bewegelichen Armatur, für ein Gleichstrom-Elektromagnet, dargestellt.

DK 681.7 : 621 3.042

GLEICHSTROMMASCHINE
MAGNETKREIS

Drăgănescu, O. : **Methologie für das experimentelle Studium der Gleischstrommaschine.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 259

Es wird eine Methodologie für das experimentelle Studium der Gleischstrommaschine geprüft, charakterisiert durch die Verwendung einiger Sonde-Schnecken, die in verschiedenen Teilen des Magnetkreises angeordnet sind, sowie einiger Stromwandler, mit spezieller Bauart, die in der Ankerwicklung eingeführt sind.

DK 621.3.012.8 : 535.89

NICHTLINEARE WIDERSTANDSSCHALTUNGEN
SCHWANKUNGSGRENZEN

Spinei, F., Ionescu, G. : **Feststellung eines begrenzten Schwankungsbereichs für die Führungsgrössen der nichtlinearen Widerstandselemente.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 267

Es wird die Existenz eines begrenzten Schwankungsbereiches für die Führungsgrössen der nichtlinearen Widerstandselemente rechtfertigt, welche sind bei der Einleitung der iterativen Methoden, der Verringerung des Volumens der Berechnungen der Kombinationslehre, usw., verwendbar.

CONTENTS

DC 621.318.3 : 621.3.013.1

ELECTROMAGNETIC FIELD
FINITE ELEMENT METHOD

Puşcaşu, D., Cârstea, I.T. : **Numericeal calculation of the non-stationary electromagnetic field using the finite element method.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 231

The paper deals with the numerical calculation of the non-stationary electromagnetic field using the finite element method for spatial discretization. The temporal discretization is achieved on the basis of the Crank-Nicholson procedure.

DC 536.53

HALL TRANSDUCER
METALLIC THERMOMETRES

Heler, A. : **The possibility to achieve dilatation metallic thermometers and the hall transducer.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 236

There are presented dilatation metallic thermometers which are mechanical transducers that turn the temperature variation into linear shift and angle variation, proving the possibility of achieving dilatation metallic thermometers and Hall transducer. Experimental results obtained with the help of Hall transducers from indigenous materials.

DC 621.313 :621.3.044

LARGE ELECTRIC MACHINES
ROTOR HEATING

Curiac, P., Gârbea, D., Popescu, D. : **Rotor heating on induction motor fault condition.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 240

By applying the finite element method, an automatic computation program has been achieved to compute locked rotor heating of the induction motor. Results are presented as against those experimentally obtained on a pyhsical model.

DC 621.316

AUTOMATION ELECTRONIC ELEMENTS
ELECTRO-TECHNICAL STAPPE GOODS

Miron, D., Niculae, D., Preoteşescu, V. : **Contributions regarding the achievement of automation electronic elements for staple goods and the implications on their operation.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 247

The authors describe an automatic electronic device for the automatic washing machine, which secures optimum operation conditions.

DC 621.318.3 : 538.244.2 : 538.26

DIRECT-CURRENT MAGNET
FLUX-CURRENT DEPENDENCE
ELECTRONIC FLUXMETER

Nifu, S., Buzoianu, E. : **Experimental checkings of the series type equivalent magnetic diagram for direct current magnets.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 251

They present the theoretical and experimental results regarding the flux variation in the working armature gap, versus the exciting current and the shift of the mobile armature, for a direct-current magnet.

DC 681.7 : 621.3.042

DIRECT-CURRENT MACHINE
MAGNETIC CIRCUIT

Drăgănescu, O. : **Methodology for the experimental study of the direct-current machine.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 259

The paper examines a methodology for the experimenta study of the direct-current machine characterized by the utilization of spire probes placed in various parts of the magnetic circuit, as well as by current transformers, of a special constructions, introduced in the coiling of the rotor.

DC 621.3.012.8 : 535.89

NONLINEAR RESISTIVE CIRCUITS
VARIATION LIMITS

Spinei, F., Ionescu, G. : **Establishing of the limited variation domain for the command magnitudes of the nonlinear resistive elements.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 267

The existence of the limited variation domain for the command magnitudes of th nonlinear resistive elements is stated, which can be used for : the initialization of the iterative methods, the computation time reduction for the combinatorial analysis.

SOMMAIRE

CD 621.318.3 : 621.3.013.1

CHAMP ÉLECTROMAGNETIQUE
METHODS DES ELEMENTS FINIS

Puşcaşu, S., Cârstea, I. T. : **Calcul numérique du champ électromagnétique non-stationnaire, que utilise la méthode de l'élément fini.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 231

On présente la calcul numérique du champ électromagnétique non-stationnaire, qui utilise la méthode de l'élément fini pour un échantillonnage spatial. L'échantillonnage temporaire se réalise par la procédure de Crank-Nicholson.

CD 536.53

TRADUCTEUR HALL
TERMOMETRES METALLIQUE

Heler, A. : **Possibilité de la réalisation des thermomètres métalliques à dillatations et traducteur HALL.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 236

On présente, sommairement, les thermomètres métalliques à dillatation qui sont des traducteurs mécaniques qui transforme la variation de température dans un déplacement lineaire ou un variation d'angle. On décrit les traducteurs Hall de déplacement linéaire et d'angle, en démontrant la possibilité de la réalisation des thermomètres métalliques à dillatation et traducteur Hall. On donne les résultats expérimentaux, à l'aide des traducteurs Hall et avec des matériels indigènes.

CD 621.313 : 621.3.044

MACHINES ÉLECTRIQUES GRANDES
ÉCHAUFFEMENT DU ROTOR

Curiac, P., Gârbea, D., Popescu, D. : **L'échauffement du rotor en régime court-circuit du moteur d'induction.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 240

Appliquant la méthode des éléments finits, on a réalisé un programme de calcul automatique de l'échauffement du rotor bloqué du moteur d'induction, On présente les résultats du calcule par comparaison aux résultats déterminés expérimentalement sur un modèle physique.

CD 621.316

ELEMENTS ÉLECTRONIQUES D'AUTOMATISATION PRODUITS ÉLECTROTECHNIQUE DE LARGE CONSOMMATION

Miron, D., Nicolae, D., Preoteşescu, E. : **Contributions concernant la réalisation des éléments d'automatisation électroniques pour des produits de large consommation et les implications concernant leurs fonctionnement.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 247

On décrit un dispositif électronique de commande pour la machine à laver automatique, qui puisse assurer de bons régimes de fonctionnement.

CD 621.318.3 : 538.244.2; 538.26

ELECTRO-AIMANT DE COURANT CONTINUU
FLUXMETRE ÉLECTRONIQUE

Niţu, S., Buzoianu, E. : **Vérification expérimentale du schéma magnétique équivalent de type série pour les électro-aimants de courant continuu.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6 aug 1985, p. 251

On présente les résultats théorétiques et expérimentaux concernant la variation du flux dans l'entrefer de travail fonction du courant d'excitation et du deplacement de l'armature de relais pour un électro-aimant de courant continuu.

CD 681.7 : 621.3.042

MACHINE A CURANT CONTINUU
CIRCUIT MAGNETIQUE

Drăgănescu, O. : **Métodologie pour l'étude expérimental de la machine à courant continuu.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 259

On analyse une métodologie pour l'étude expérimental de la machine à courant continuu qui est caractérisée par l'utilisation des spires sondes amplacées dans de diverses positions du circuit magnétique et aussi des transformateurs de courant, de construction spéciale, introduits dans l'euroulement du rotor.

CD 621.3.012.8 : 535.89

CIRCUITS RESISTIF NONLINEAIRES
LIMITES DE VARIATION

Spinei, F., Ionescu, G. : **Détermination d'un domain limité de variation pour les grandeurs de commande des éléments nonlinéaires résistifs.**

E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 6, aug 1985, p. 267

On démonstre l'existence d'un domain limité de variation pour les grandeurs de commande des éléments nonlinéaires résistifs qui, peut etre utilisée pour initier les méthodes itératives, pour la réduction du volum de calculs de l'analyse combinatoire etc.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI

Electrotehnica nr. 6

CZ 621.318.3 : 621.3.013.1

CÎMP ELECTROMAGNETIC
METODA ELEMENTELOR FINITE

Calculul numeric al cîmpului electromagnetic nestaţionar utilizînd metoda elementelor finite

SILVIU PUŞCAŞU, ION T. CÂRSTEA* – CRAIOVA

Introducere

În majoritatea problemelor de electromagnetism, calculul cîmpurilor se face pe baza teoriei macroscopice a fenomenelor fizice şi, în particular, pe baza ecuaţiilor lui Maxwell. Modelul matematic al fenomenelor electromagnetice este dat de un set de ecuaţii cu derivate parţiale de ordinul al doilea de tip eliptic pentru regimuri staţionare şi de tip parabolic şi hiperbolic pentru regimuri tranzitorii, cu condiţii iniţiale şi pe frontieră specificate. În anumite cazuri particulare aceste ecuaţii au o formă simplă şi deci este posibilă obţinerea soluţiei analitice. Problemele de cîmp care apar în practică sînt destul de complexe şi, de cele mai multe ori, imposibil de rezolvat pe cale analitică, motiv pentru care se apelează la tehnici de calcul numeric, tehnici care se pretează la algoritmizare şi, deci, se pot implementa uşor pe calculatoare numerice.

În electrotehnică metodele numerice cu aplicabilitatea cea mai largă sînt cele bazate pe diferenţe finite, metode care înlocuiesc operatorii diferenţiali prin operatorii tip diferenţă. Aceste metode, utilizate la calculul cîmpului electromagnetic saturat, au o convergenţă slabă, iar în cazul unor domenii spaţiale cu frontiere curbe, introduc erori apreciabile. O altă clasă de metode numerice caută să aproximeze funcţia necunoscută şi urmăresc minimizarea erorii de aproximare. Metoda elementului finit este un caz particular al acestor metode şi constă în discretizarea domeniului spaţial într-un număr de subdomenii numite elemente, iar în fiecare element funcţia necunoscută se aproximează printr-o combinaţie de funcţii de bază. Aplicată iniţial în calculul structurilor mecanice, metoda a fost extinsă în domenii ca mecanica fluidelor, propagarea undelor, transferul de căldură etc., în general în studiul acelor sisteme cu energia distribuită spaţial.

În lucrare se abordează determinarea regimului tranzitoriu în probleme de electromagnetism, folosind discretizarea spaţială prin metoda elementului finit. Obţinerea ecuaţiilor în elemente finite se face fie pornind de la formularea variaţională a problemelor de cîmp, fie, mai general, utilizînd procedeul lui Galerkin de minimizare a reziduului aproximării. Ecuaţiile diferenţiale ordinare rezultate în urma discretizării spaţiale se rezolvă folosind metoda Crank-Nicholson.

1. Formularea problemei

Regimurile tranzitorii în problemele de cîmp electromagnetic sînt descrise de ecuaţii cu derivate parţiale de tip parabolic şi hiperbolic, cu condiţii iniţiale (CI) şi pe frontieră (CF) specificate. O clasă foarte generală de probleme de cîmp nestaţionare este descrisă de ecuaţia [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x_1}\left(kx_1\frac{\partial u}{\partial x_1}\right)+\frac{\partial}{\partial x_2}\left(kx_2\cdot\frac{\partial u}{\partial x_2}\right)+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(kx_3\cdot\frac{\partial u}{\partial x_3}\right)=f(x,t)+f_1(x,t)\cdot\frac{\partial u}{\partial t}+f_2(x,t)\cdot\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tag{1}$$

cu $x=(x_1, x_2, x_3)$ variabila spaţială, iar $u(x,.)$ – funcţie scalară sau vectorială definită pe domeniul spaţial Ω, fixat sau în mişcare, avînd frontiera $\partial\Omega=\partial\Omega_1\cup\partial\Omega_2$, netedă pe porţiuni. Funcţiile f, f_1, f_2 sînt cunoscute, iar kx_1, kx_2, kx_3 sînt funcţii dependente de x şi timp, t, şi

* Prof. dr. ing. *Puşcaşu S.*, as. ing. *Cârstea, I. T.* – Facultatea de electrotehnică, Universitatea din Craiova.

caracterizează proprietăţile mediului. Prin particularizarea funcţiilor f_1 şi f_2 se obţin ecuaţii ce caracterizează atît fenomene electrice, cît şi mecanice (oscilaţiile coardei, ale membranei etc.). Astfel, pentru $f_1 = 0$, iar $kx_1 = kx_2 = kx_3$, constante, ecuaţia (1) caracterizează propagarea undelor şi ia forma :

$$\Box_a u = f, \tag{2}$$

cu $\Box_a$ operatorul lui d'Alembert :

$$\Box_a = \frac{\partial^2}{\partial t^2} - a^2 \cdot \Delta, \tag{3}$$

iar Δ este laplaceanul :

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2}. \tag{4}$$

Ecuaţia (2) este de tip hiperbolic, iar cînd u este funcţie armonică se reduce la ecuaţia lui Helmholtz.

În cazul cînd $f_2 = 0$, ecuaţia (1) este de tip parabolic şi descrie regimul tranzitoriu în probleme de transfer de căldură, difuzia sarcinii în semiconductoare, sau efectul pelicular în conductoare electrice imperfecte.

Formularea corectă a problemelor de cîmp cere rezolvarea ecuaţiei (1) cu condiţiile iniţiale :

$$\begin{aligned} &u(x, 0) = u_0(x), \quad x \in \Omega, \\ &\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = u_1(x), \; x \in \Omega, \end{aligned} \tag{5}$$

şi condiţiile pe frontieră :

$$u(x, t)\,|_{\partial\Omega_1} = u_2(x, t), \; x \in \partial\Omega_1, \tag{6.a}$$

$$\begin{aligned} kx_1 \cdot \frac{\partial u}{\partial x_1} \cdot n_1 + kx_2 \cdot \frac{\partial u}{\partial x_2} \cdot n_2 + kx_3 \cdot \frac{\partial u}{\partial x_3} \cdot n_3 + \\ + g(x, t) + h(x, t) \cdot u = 0 \quad x \in \partial\Omega_2, \end{aligned} \tag{6.b}$$

unde u_0, u_1, u_2 sînt funcţii cunoscute, iar n_1, n_2, n_3 reprezintă cosinuşii directori ai normalei exterioare domeniului Ω la suprafaţa $\partial\Omega_2$. Condiţia (6.a), care precizează valoarea lui u pe frontiera $\partial\Omega_1$, se numeşte condiţie tip Dirichlet, condiţia (6.b) este de tip mixt, iar cînd $h(x, t) = 0$ se reduce la condiţia Neumann.

Se va considera că problema formulată mai sus admite o soluţie unică în clasa funcţiilor de pătrat integrabil $u(x, t) \in L_2(\bar{G})$, cu $\bar{G} = \bar{\Omega}x\,[0, T]$, T-timpul final fixat, propunîndu-se găsirea unei aproximări a acestei soluţii.

În multe cazuri practice este posibilă formularea variaţională a problemelor de cîmp, adică, găsirea funcţionalei a cărei condiţie necesară şi suficientă de minim este echivalentă cu ecuaţia (1). În felul acesta problema iniţială se reduce la minimizarea unei funcţionale care, de regulă, reprezintă energia sistemului [2]. În cazul general nu este posibilă găsirea acestei funcţionale şi singura cale este rezolvarea numerică directă a problemei iniţiale, urmărind minimizarea erorii de calcul. Indiferent de procedeul de calcul numeric, este necesară atît discretizarea spaţială, cît şi temporală a variabilelor modelului matematic.

2. Discretizarea spaţială utilizînd metoda elementului finit

Metoda elementului finit constă în împărţirea domeniului spaţial $\Omega \subseteq R^3$, în care se calculează cîmpul, într-un număr finit de subdomenii Ω^e numite elemente, caracterizate de un număr r de puncte (noduri), în care urmează să se determine valorile lui u (valori nodale). În fiecare element e se aproximează funcţia necunoscută printr-o combinaţie de anumite funcţii de bază. Cel mai frecvent se utilizează aproximări polinominale din cauza facilităţilor de derivare şi integrare a acestora, însă în probleme de tip C^p (continuitatea lui u şi a derivatelor pînă la ordinul p inclusiv) se pot utiliza aproximări cu funcţii speciale, avînd în vedere particularităţile fizice ale problemei de cîmp. Forma elementelor este arbitrară, dar în aplicaţiile practice se preferă triunghiuri în spaţiul bidimensional şi tetraedre, în spaţiul tridimensional. În lucrare se va considera că $u(t, x)$ este funcţie scalară, cazul vectorial tratîndu-se într-un mod asemănător.

La nivelul unui element e se face aproximarea [2] :

$$\begin{aligned} u^{(e)}(x, t) = \sum_{i=1}^{r} N_i(x)\, u_i(t) = [N(x)]^{(e)} \cdot \\ \cdot \{u(t)\}^{(e)}, \end{aligned} \tag{7}$$

cu $[N]^{(e)}$ — vector linie cu componentele N_i, funcţii de interpolare cunoscute care depind de geometria elementului, iar $\{u\}^e$ — vector coloană cu componentele u_i, valorile nodale ale lui u.

Pentru obţinerea ecuaţiilor în elemente finite se va utiliza criteriul lui Galerkin [2] de minimizare a erorii de aproximare, care pentru un element e cu elementul de volum $d\Omega^{(e)}$, ia forma :

$$\begin{aligned} \int_{\Omega^{(e)}} \Bigg[\frac{\partial}{\partial x_1}\left(kx_1 \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_1}\right) + \frac{\partial}{\partial x_2}\left(kx_2 \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_2}\right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x_3}\left(kx_3 \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_3}\right) - f - f_1 \cdot \frac{\partial u^{(e)}}{\partial t} - f_2 \cdot \\ \cdot \frac{\partial^2 u^{(e)}}{\partial t^2} \Bigg] N_i \, d\Omega^{(e)} = 0 \; ; \; i = 1, \ldots, r, \end{aligned} \tag{8}$$

Folosind identitatea lui Green pentru primii trei termeni, relaţia (8) devine :

$$\int_{\partial\Omega^{(e)}} \left[kx_1 \cdot \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_1} n_1 + kx_2 \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_2} \cdot n_2 + kx_3 \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_3} n_3 \right] N_i \, d\Sigma^{(e)},$$

$$-\int_{\Omega^{(e)}} \left[kx_1 \cdot \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x_1} + kx_2 \cdot \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x_2} + \right.$$

$$\left. + kx_3 \cdot \frac{\partial u^{(e)}}{\partial x_3} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x_3} \right] d\Omega^{(e)}, \tag{9}$$

$$-\int_{\Omega^{(e)}} N_i f \, d\Omega^{(e)} - \int_{\Omega^{(e)}} N_i f_1 \frac{\partial u^{(e)}}{\partial t} \cdot d\Omega^{(e)} -$$

$$-\int_{\Omega^{(e)}} N_i \cdot f_2 \cdot \frac{\partial^2 u^{(e)}}{\partial t^2} \, d\Omega^{(e)} = 0.$$

Cu (6.b) şi (7), din (9) se obţine :

$$\int_{\Omega^{(e)}} \left[kx_1 \left[\frac{\partial N}{\partial x_1} \right]^{(e)} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x_1} + kx_2 \cdot \left[\frac{\partial N}{\partial x_2} \right]^{(e)} \frac{\partial N_i}{\partial x_2} + \right.$$

$$\left. + kx_3 \left[\frac{\partial N}{\partial x_3} \right]^{(e)} \frac{\partial N_i}{\partial x_3} \right] \{u\}^{(e)} \, d\Omega^{(e)} +$$

$$+\int_{\Omega^{(e)}} f \cdot N_i \, d\Omega^{(e)} + \int_{\Omega^{(e)}} f_1 \cdot N_i \cdot [N]^{(e)} \cdot$$

$$\cdot \left\{ \frac{du}{dt} \right\}^{(e)} d\Omega^{(e)} + \tag{10}$$

$$+\int_{\Omega^{(e)}} f_2 \cdot N_i \cdot [N]^{(e)} \left\{ \frac{d^2 u}{dt^2} \right\} d\Omega^{(e)} +$$

$$+\int_{\partial\Omega_2^{(e)}} [g + h \, [N]^{(e)} \cdot \{u\}^{(e)}] \, N_i \cdot d\Sigma^{(e)} = 0,$$

cu : $d\Sigma^{(e)}$ elementul de suprafaţă,

$$i = 1, 2, \ldots r.$$

Ecuaţiile (10) se pot scrie sub formă matriceală :

$$[k]^{(e)} \cdot \{u\}^{(e)} + [Ft]^{(e)} \{\dot{u}\}^{(e)} + [Ftt]^{(e)} \cdot$$
$$\cdot \{\ddot{u}\}^{(e)} + \{f_s\}^{e} + \{g\}^{(e)} + [H]^{(e)} \cdot \{u\}^{(e)} = 0 \tag{11}$$

cu matricele $[K]^{(e)}$, $[Ft]^{(e)}$, $[Ftt]^{(e)}$, $[H]^{(e)}$ de dimensiuni $r \times r$, iar $\{f_s\}^{(e)}$ şi $\{g\}^{(e)}$ vectori coloană de dimensiuni r, avînd componentele :

$$k_{ij}^{(e)} = \int_{\Omega^{(e)}} \left[kx_1 \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x_1} + kx_2 \cdot \frac{\partial N_i}{\partial x_2} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x_2} + kx_3 \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x_3} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x_3} \right] d\Omega^{(e)},$$

$$f_{iij}^{(e)} = \int_{\Omega^{(e)}} f_1 \cdot N_i \cdot N_j \, d\Omega^{(e)}; \quad f_{iiij}^{(e)} =$$

$$= \int_{\partial\Omega^{(e)}} f_2 \cdot N_i \cdot N_j \, d\Omega^{(e)}, \tag{12}$$

$$h_{ij}^{(e)} = \int_{\partial\Omega_2^{(e)}} h \cdot N_i \cdot N_j \, d\Sigma^{(e)}; \quad f_{si}^{(e)} =$$

$$= \int_{\Omega^{(e)}} f \cdot N_i \cdot d\Omega^{(e)},$$

$$g_i^{(e)} = \int_{\partial\Omega^{(e)}} g \cdot N_i \, d\Sigma^{(e)}, \quad i = 1, 2, \ldots r,$$

unde $\dot{u}(t) = \dfrac{du}{dt}$, $\ddot{u}(t) = \dfrac{d^2 u}{dt^2}$.

Ecuaţia (11) se va scrie simplificat :

$$[A]^{(e)} \cdot \{u\}^{(e)} + [Ft]^{(e)} \{\dot{u}\}^{e} + [Ftt]^{(e)} \{\ddot{u}\}^{(e)} =$$
$$= \{R(t)\}^{(e)},$$

cu : (13)

$$[A]^{(e)} = [K]^{(e)} + [H]^{(e)}, \; \{R(t)\}^{(e)} =$$
$$= - \{f_s\}^{(e)} - \{g\}^{(e)}.$$

Matricea $[H]^{(e)}$ din (11) este matrice rară, întrucît contribuţie la evaluarea componentelor aduc numai acele elemente a căror frontieră face parte din $\partial\Omega_2$, unde este specificată condiţia (6.b).

Scriind ecuaţia (13) pentru fiecare element şi asamblind aceste ecuaţii, rezultă o ecuaţie diferenţială matriceală de aceeaşi formă, cu vectorul global $\{u\}$ avînd n componente, unde n este numărul total de noduri ce caracterizează domeniul.

3. Discretizarea temporală

Ca urmare a discretizării spațiale, modelul matematic cu parametri distribuiți al problemelor de cîmp este aproximat printr-un model cu parametri concentrați de forma :

$$Ftt\cdot\{\ddot{u}\} + Ft\cdot\{\dot{u}\} + A\{u\} = \{R(t)\}. \qquad (14)$$

Ecuația diferențială matriceală (14) este similară cu ecuația oscilatorului electric, motiv pentru care matricea Ft se mai numește matricea amortizării, iar Ftt matrice de inerție. Funcția de excitație $R(t)$ poate fi zero (ecuație omogenă), armonică, periodică sau nu, aleatoare sau deterministică. În lucrare se consideră probleme de cîmp deterministice.

Pentru soluționarea numerică a ecuației (14) s-a dezvoltat o mare varietate de metode de integrare, mergînd de la cele de tip unipas (ex. metoda Runge-Kutta) pînă la metodele multipas (clasa metodelor predictor-corectoare). În [2] se dă o metodă de rezolvare bazată pe dezvoltarea în serie Taylor a funcției vector $\{u(t)\}$ și reținerea unui număr finit de termeni din această dezvoltare. În continuare se va prezenta procedeul Crank-Nicholson [3] care s-a aplicat în exemplul din § 5. Pentru aceasta ecuația (14) se scrie sub formă normalizată, introducînd vectorul de stare z, $2n$-dimensional :

$$[z(t) = [z_1(t)z_2(t)],$$

cu : $$z_1(t) = [u(t)], z_2(t) = [\dot{u}(t)]$$

și deci (14) devine :

$$\{\dot{z}(t)\} = B\cdot\{z\} + \{F(t)\}, \qquad (15)$$

cu matricea B de dimensiune $2n \times 2n$, iar $\{F(t)\}$ vector coloană $2n$-dimensional, avînd structura :

$$B = \begin{bmatrix} O_n & I_n \\ \cdots & \cdots \\ -F_{tt}^{-1}\cdot A & -F_{tt}^{-1}\cdot F_t \end{bmatrix} \{F(t)\} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdots \\ F_{tt}^{-1}\{R\} \end{bmatrix}. \qquad (16)$$

Prin I_n și O_n s-au notat matricele-unitate și zero de dimensiune n.

Ecuația (15) se rezolvă cu condiția inițială :

$$[z(0)\,] = [u_0(x_i)\,;\; u_1(x_i)], \qquad (17)$$

unde x_i este valoarea variabilei spațiale x în nodul i.

Aproximarea Crank-Nicholson pentru ecuația diferențială (15) duce la următoarea relație de recurență :

$$\{z\}^{m+1} = \{z\}^m + \frac{\Delta t}{2}\cdot(\{\dot{z}\}^m + \{\dot{z}\}^{m+1})\,;\; m=0, 1, \ldots \qquad (18)$$

unde m este numărul iterației, iar $\Delta t = t_{m+1} - t_m$ este pasul de discretizare temporală. Relația (18) aplicată la (15) se scrie :

$$\left(I - \frac{\Delta t}{2} B\right)\{z\}^{m+1} = \left(I + \frac{\Delta t}{2} B\right)\{z\}^m + \frac{\Delta t}{2}(\{F\}^m + \{F\}^{m+1}), \qquad (19)$$

$$\{z\}^\circ = \{z(0)\}\,;\; m = 0,\ 1, \ldots \qquad (20)$$

iar I este matricea-unitate de aceeași dimensiune cu B.

4. Exemplu de calcul

Algoritmul dezvoltat în paragrafele precedente se va aplica în cazul spațiului unidimensional. Nu se va intra în detalii privind semnificațiile fizice ale mărimilor ce apar, ci se va pune accentul pe aspectele numerice ale rezolvării problemei de cîmp. Pentru aceasta s-a ales un exemplu care se poate rezolva analitic și, deci se obțin valori cu care se pot compara rezultatele numerice.

Se consideră următoarea problemă mixtă :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2\frac{\partial u}{\partial t} - (4x + 8e^t \cos x), \qquad (21)$$

$$(x, t) \in Q,$$

cu : condițiile inițiale $u(x, 0) = \cos x$;

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = 2x, \qquad (22)$$

condițiile pe frontieră $\dfrac{\partial u}{\partial x}(0, t) = 2t$; $u\left(\dfrac{\pi}{2}, t\right) = \pi t, \qquad (23)$

unde $Q = \left(0, \dfrac{\pi}{2}\right) x\,(0, t_f)$; t_f fiind durata regimului tranzitoriu. Se cere funcția $u(x, t)$, de clasă $C^2(Q)\cap C^1(\bar{Q})$, care satisface ecuația (21) cu condițiile (22)–(23). Intensitatea sursei fiind

funcție continuă, soluția obținută este cea clasică, deși cazurile interesante apar cînd $f(x, t)$ din (1) prezintă singularități. Soluția clasică pentru această problemă este:

$$u(x, t) = 2xt + (2e^{t} - e^{-t} - 3te^{-t}) \cos x. \quad (24)$$

Pentru rezolvarea numerică a ecuației (21) se discretizează domeniul spațial $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$, în M elemente care, în acest caz, sînt intervale $[x_i, x_j]$ ale diviziunii spațiale. Pentru simplitate se consideră că fiecare element este caracterizat de două noduri și anume, capetele intervalului, deci, în total există $n = M + 1$ noduri. La nivelul fiecărui element e se fac aproximările liniare [4]:

$$u^{(e)}(x, t) = N_i(x) \cdot u_i(t) + N_j(x) u_j(t) = [N]^{(e)} \cdot \{u\}^{(e)},$$
$$f^{(e)}(x, t) = N_i(x) \cdot f(x_i, t) + N_j(x) \cdot f(x_j, t) = N_i(x) \cdot f_i(t) + N_j(x) \cdot f_j(t), \quad (25)$$

cu funcțiile de interpolare sau de formă:

$$N_i(x) = \frac{x_j - x}{x_j - x_i}; \quad N_j(x) = \frac{x - x_i}{x_j - x_i}. \quad (26)$$

Cu aproximările (25), din (12) se obține:

$$k_{ij}^{(e)} = \frac{(-1)^{i+j}}{\Delta x^{(e)}}; \quad f_{iij}^{(e)} = 2 \cdot \frac{\Delta x^{(e)}}{6}(1 + \delta_{ij}); \quad f_{iij}^{(e)} = \frac{\Delta x^{(e)}}{6}(1 + \delta_{ij}),$$
$$f_{s_1}^{(e)} = \frac{\Delta x^{(e)}}{6}(2f_i + f_j); \quad f_{s_2}^{(e)} = \frac{\Delta x^{(e)}}{6}(f_i + 2f_j); \quad h_{ij}^{(e)} = 0, \ (h = 0), \quad (27)$$

unde $\Delta x^{(e)} = x_j - x_i$, iar δ_{ij} este simbolul lui Kronecker.

Scriind ecuațiile în elemente finite pentru fiecare element și asamblîndu-le, se obține sistemul de ecuații diferențiale de forma:

$$F_u\{\ddot{u}(t)\} + F_i\{\dot{u}(t)\} + K\{u(t)\} + \{g(t)\} + \{f_s(t)\} = 0, \quad (28)$$

unde vectorul-coloană $\{u\}$ are n elemente, iar vectorul $\{g\}$ are componenta $g_1(t) = 2t$. Ecuația (28) se rezolvă cu condițiile inițiale:

$$\{u(0)\} = \{\cos x_i\}; \quad \{\dot{u}(0)\} = \{2x_i\},$$

cu x_i punct curent al diviziunii spațiale.

Cu aproximarea Crank-Nicholson se obține o relație de recurență de forma (19). Simularea numerică realizată în limbajul FORTRAN IV a condus la rezultatele prezentate în tabelul 1, cu pasul de discretizare spațială constant $\Delta x = 0{,}2$, iar $\Delta t = 0{,}2$; $t_f = 1$ s. În tabelul 2 se prezintă rezultatele exacte calculate pe baza relației (24).

Tabelul 1

t_i \ x_i	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,57
0,0	1,000	0,987	0,923	0,826	0,697	0,542	0,365	0,173	0,000
0,2	1,136	0,193	1,202	1,174	1,110	1,013	0,893	0,756	0,628
0,4	1,514	1,643	1,711	1,726	1,691	1,615	1,509	1,380	1,257
0,6	2,109	2,306	2,423	2,456	2,429	2,336	2,205	2,040	1,885
0,8	2,926	3,187	3,333	3,373	3,314	3,178	2,980	2,740	2,514
1,0	3,966	4,288	4,453	4,473	4,363	4,140	3,838	3,474	3,143

Tabelul 2

t_i \ x_i	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,57
0,0	1,000	0,980	0,921	0,825	0,696	0,540	0,362	0,169	0,000
0,2	1,132	1,190	1,203	1,174	1,109	1,012	0,890	0,752	0,628
0,4	1,508	1,638	1,709	1,725	1,691	1,615	1,506	1,375	1,257
0,6	2,107	2,305	2,421	2,459	2,438	2,338	2,203	2,038	1,885
0,8	2,923	3,185	3,332	3,372	3,316	3,179	2,979	2,736	2,514
1,0	3,965	4,286	4,452	4,472	4,362	4,142	3,836	3,473	3,143

5. Concluzii

Soluționarea numerică a problemelor de electromagnetism, utilizînd metoda elementului finit pentru discretizarea spațială oferă avantaje clare față de metode similare, cum ar fi metoda diferențelor finite. Se pot alege elemente cu forme variate, care să țină seama de configurația geometrică a domeniului spațial. La nivelul fiecărui element se pot folosi aproximări diferite cu restricția de a respecta condițiile pe frontieră a două elemente adiacente, condiții specifice problemei de rezolvat. Singularitățile funcției necunoscute pot fi prinse ușor în aceste aproximări, care nu sînt neapărat polinoame, ci în anumite probleme se folosesc funcții speciale care să exprime cît mai exact comportarea cîmpului. Algoritmul de calcul numeric rămîne invariant, în raport cu aceste aproximări și forma elementelor.

Precizia metodei depinde de numărul elementelor și de modul de aproximare a funcției necunoscute. În exemplul din § 4 s-au considerat aproximări polinomiale de ordinul întîi care conduc la funcțiile de interpolare (26). O creștere a ordinului polinomului de aproximare duce la creșterea preciziei, dar și la complexitatea formulelor de calcul. Modelul cu parametri concentrați obținut în urma discretizării spațiale s-a rezolvat prin metoda Crank-Nicholson, cu rezultate bune în soluționarea ecuațiilor diferențiale ordinare, deși la acest punct se poate utiliza oricare alt procedeu numeric, criteriul de alegere fiind impus de precizia de calcul.

În lucrare s-a considerat cazul cu $f(x, t)$ funcție continuă în raport cu argumentele, dar într-un mod asemănător se abordează problemele cu $f(x, t)$ funcție generalizată. În exemplul de calcul ales funcția $f(x, t)$ s-a aproximat prin $f^{(e)}(x, t)$ pentru a calcula ușor componentele vectorului $\{f_s\}$, însă în cazul general se folosesc procedee de calcul numeric (metoda Simpson, Romberg etc.), pentru expresiile integrale (12).

Autorii s-au oprit la un exemplu simplu, pentru a ilustra modul de utilizare a algoritmului prezentat. Într-un număr viitor se vor aborda cîteva aplicații concrete în cazul propagării undelor electromagnetice și al transmisiei energiei prin linii cu pierderi.

Bibliografie

[1] *Vladimirov, V. S.* Ecuațiile fizicii matematice, Editura științifică și enciclopedică, București, 1980.
[2] *Huebner, K. H.* The finite element method for engineers. New York, 1975.
[3] *Marciuk, G. I.* Metode de analiză numerică, Editura Academiei R.S.R., București, 1983.
[4] *Cârstea, I. T.* Regimul tranzitoriu în propagarea căldurii, determinat prin metoda elementelor finite. În: Electrotehnica nr. 5, iulie 1984, București.

CZ 536.53

TRADUCTOARE HALL
TERMOMETRE METALICE

Posibilitatea realizării unor termometre metalice cu dilatații și traductor Hall

HELER AFILON * — TIMIȘOARA

Introducere

Unul dintre parametrii cu o importanță deosebită în aproape toate procesele tehnologice ale diferitelor ramuri industriale, este temperatura. În principiu, se pot folosi, la realizarea de traductoare destinate măsurărilor de temperatură, legile de variație cu temperatura a anumitor proprietăți ale elementelor fizice. Tocmai prin acest fapt se explică apariția unui număr mare de tipuri de traductoare de temperatură.

Traductorul de temperatură este compus din două părți funcționale distincte :

— elementul sensibil, care sesizează variațiile de temperatură ;

— adaptorul, cu rolul de a converti semnalul furnizat de elementul sensibil în semnalul de ieșire dorit.

Din literatura de specialitate [1, 2, 3, 4] rezultă că aparatele utilizate pentru măsurarea temperaturilor pot fi împărțite, funcție de principiile de funcționare, în următoarele categorii :

a. Termometre de dilatare metalice (cu tijă, cu lamelă bimetalică) și cu lichid.

b. Termometre manometrice (cu lichid, cu vapori sau cu gaz).

c. Termometre cu termocupluri (termoelemente).

d. Termometre electrice cu rezistență (termorezistențe și termistoare).

e. Pirometre de radiație (optice sau de strălucire, fotoelectrice de strălucire, de culoare etc.).

1. Termometre metalice cu dilatație

Funcționarea acestor termometre se bazează pe efectul diferenței de dilatare liniară funcție de temperatură a două corpuri metalice, sau a

* Institutul de tehnică de calcul — filiala Timișoara.

unui corp metalic și a altuia nemetalic, care au coeficienți de dilatare termică diferiți [5]. După forma constructivă termometrele metalice cu dilatație se clasifică în termometre cu tijă și termometre cu bilame (denumite și termometre bimetalice).

1.1. Termometrul cu tijă

Elementul sensibil, la acest termometru, este format din tija metalică *1* cu conductibilitate termică și coeficient de dilatare termică mic, care este introdusă într-un tub de protecție *2* cu coeficient de dilatare termică mare (fig. 1).

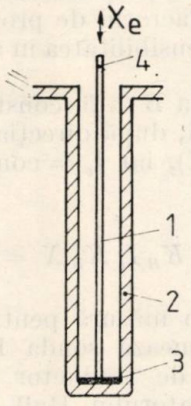


Fig. 1. Elementul sensibil al termometrului metalic cu tijă.

Tija este sudată de placa inferioară *3* care închide tubul. Tubul este executat din metal, cu un coeficient de dilatație α_2 mare, cum ar fi : alamă, cupru, aluminiu, oțel. Tija este confecționată dintr-un material cu coeficient de dilatație α_1 mic, cum este invarul (64 % Fe și 36 % Ni), porțelanul sau cuarțul.

Tubul termometrului este introdus complet în mediul a cărui temperatură se măsoară. La creșterea temperaturii mediului, tubul se dilată mult mai mult decît tija, iar capătul liber *4* al acesteia se deplasează relativ față de tub, în jos cu lungimea X_e. Această deplasare a capătului liber al tijei poate acționa un sistem de transmisie, respectiv un ac indicator.

Pentru deplasarea X_e a capătului liber (*4*) literatura de specialitate [4] indică expresia :

$$X_e = l_0(\alpha_2 - \alpha_1)\cdot\Delta t, \qquad (1)$$

unde s-a notat :

l_0 — lungimea tubului la temperatura t_0, în mm ;

$\Delta t = t - t_0$, variația de temperatură, în °C ;

α_2 și α_1, coeficienții de dilatare liniară ai tubului (α_2) și tijei (α_1), în $°C^{-1}$.

1.2. Termometre bimetalice

Elementul sensibil la aceste termometre îl constituie o lamelă bimetalică formată prin suprapunerea a două foi metalice *1* și *2* (de grosimi h_1 și h_2), cu coeficienții de dilatare α_1 respectiv α_2, laminate și sudate sau lipite pe întreaga suprafață de contact. Grosimea lamei bimetalice $h = h_1 + h_2$ are valori [5] cuprinse între 0,05 și 2 mm. Lamela bimetalică poate fi rectilinie (fig. 2 a), spirală (fig. 2 b) sau elicoidală (fig. 2 c.). Foaia metalică cu coeficient de dilatare mare este dintr-un oțel cu 24 % Ni și 2 . . . 4 % Cr, iar cea cu coeficient de dilatare mic din invar cu 36 . . . 50 % Ni.

Dacă lama bimetalică este supusă unei încălziri, ea se va curba după direcția acelui metal care are un coeficient de dilatare mai mic. Curbarea este cu atît mai pronunțată cu cît cele două foi metalice sînt mai lungi și mai subțiri.

a. *Lamela rectilinie.* Aceasta (fig. 2.a) are partea inferioară *3* încastrată și partea superioară *4* liberă, l_0 fiind lungimea neîncastrată, la temperatura t_0. Dacă $\alpha_1 > \alpha_2$, atunci cînd

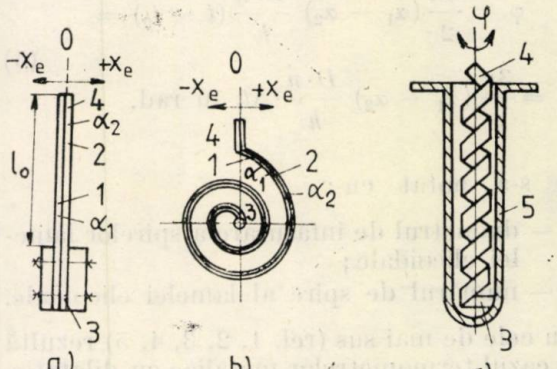


Fig. 2. Elementele sensibile ale termometrului bimetalic : a — lamela bimetalică rectilinie ; b — lamela bimetalică spirală ; c — lamela bimetalică elicoidală.

temperatura lamelei bimetalice crește la $t > t_0$, capul liber *4* al lamelei se va curba spre dreapta, efectuînd o deplasare liniară X_e ($X_e > 0$), a cărei expresie [4] este :

$$X_e = \frac{3}{4}(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{l_0^2}{h}(t - t_0) = \frac{3}{4}(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{l_0^2}{h}\cdot\Delta t. \qquad (2)$$

b. *Lamela spirală.* De obicei, partea interioară *1* a spiralei de lungime l_0 la t_0, are $\alpha_1 > \alpha_2$, astfel că prin încălzire capătul liber *4* va efectua o deplasare liniară X_e spre dreapta ($X_e > 0$), a cărei expresie [4] este :

$$X_e = \frac{3}{2}(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{l_0^2}{h}(t - t_0) = \frac{3}{2}(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{l_0^2}{h}\cdot\Delta t. \qquad (3)$$

Capătul din interior *3* al spiralei este fix. Dacă extremitatea *4* se încastrează și se fixează de un mic cilindru ce se poate roti liber în jurul unui ax, atunci, la încălzirea lamelei de la t_0 la t, cilindrul se va roti cu unghiul φ. Expresia acestui unghi [2] este:

$$\varphi = 1{,}5 \cdot M \cdot \frac{l_0}{h}(t - t_0) = 1{,}5\, M \frac{l_0}{h} \cdot \Delta t, \quad \text{în rad,} \tag{4}$$

unde, M este un coeficient de sensibilitate a metalelor ce compun bimetalul, dependent de structura acestora.

c. Lamela elicoidală. La o asemenea lamelă (fig. 2 c) capătul *3* este încastrat în carcasa de protecție *5*, iar cel liber *4* este fixat de o tijă, ce se poate roti liber în jurul unui ax cu unghiul φ, atunci cînd temperatura lamelei elicoidale crește de la t_0 la t. În literatura de specialitate [4] pentru acest unghi φ se dă expresia:

$$\varphi = \frac{3\pi}{2}(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{D \cdot n}{h}(t - t_0) = \frac{3\pi}{2}(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{D \cdot n}{h} \cdot \Delta t, \text{ în rad.} \tag{5}$$

unde s-a notat cu:

D — diametrul de înfășurare a spirelor lamelei elicoidale;

n — numărul de spire al lamelei elicoidale.

Din cele de mai sus (rel. 1, 2, 3, 4, 5) rezultă că în cazul termometrelor metalice cu dilatație, variația de temperatură Δt este transformată fie într-o variație de deplasare liniară X_e (rel. 1, 2 și 3), fie într-o variație de unghi φ. La termometrul realizat (l_0, α_1, α_2, h, M, D și n constante) relațiile (1), (2) și (3), respectiv (4) și (5) se pot scrie sub forma:

$$X_e = K_e \cdot \Delta t, \tag{6}$$

$$\varphi = K_\varphi \cdot \Delta t. \tag{7}$$

2. Traductor Hall de deplasare liniară

Cu ocazia altor lucrări elaborate de autor [6, 7, 8] a fost descris multiplicatorul Hall, a cărui schemă electrică este prezentată în figura 3 a. Tensiunea Hall, măsurată de milivoltmetrul mV are expresia cunoscută:

$$U_H = K_H I_c B, \tag{8}$$

ea fiind proporțională cu produsul a două mărimi: I_c (în mA), denumit curent de comandă și B (în tesla), inducția magnetică în care se află

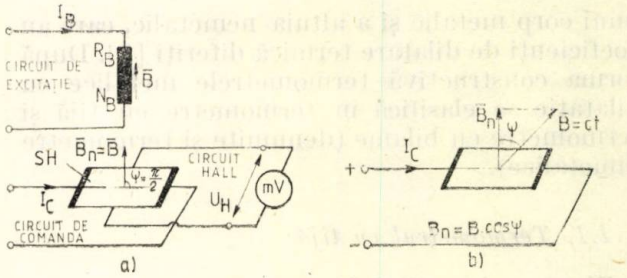


Fig. 3. Schema electrică a multiplicatorului Hall.

plăcuța semiconductoare *SH* (sonda Hall), inducție creată de circuitul de excitație (amperspire $I_B N_B$), ea fiind perpendiculară pe suprafața sondei Hall. Factorul de proporționalitate K_H este denumit sensibilitatea în sarcină a multiplicatorului Hall.

Dacă se asigură ca B să fie constantă în timp, dar o funcție liniară, după direcția de deplasare X (adică $B = K_B X$), iar I_c = constant, atunci (7) se poate scrie:

$$U_H = K_H I_c B = K_H I_c K_B X = K_d X, \tag{9}$$

adică, U_H devine o măsură pentru deplasarea X pe care o efectuează sonda Hall. Din (9) rezultă caracterul de traductor de deplasare liniară a multiplicatorului Hall, în condițiile sus-menționate. Constanta K_d poate fi denumită sensibilitatea traductorului Hall de deplasare liniară.

3. Traductor Hall de unghi

Dacă vectorul inducție magnetică $\bar{B}$ nu este perpendicular pe plăcuța semiconductoare, atunci în relația (7) intervine componenta normală $B_n = B \cos \psi$ (fig. 3 b), putîndu-se scrie:

$$U_H = K_H I_c B_n = K_H I_c B \cos \psi. \tag{10}$$

La I_c = constant și realizînd un cîmp magnetic omogen (B = const), în care se poate roti sonda Hall cu unghiul ψ, relația (10) obține forma:

$$U_H = K_H I_c B \cos \psi = K_\psi \cos \psi. \tag{11}$$

În aceste condiții multiplicatorul Hall a devenit un traductor de unghi, tensiunea Hall U_H (măsurată de milivoltmetrul mV) fiind o măsură a unghiului ψ, prin cosinusul său.

4. Posibilitatea realizării unor termometre metalice (cu tijă, bimetalice, cu lamelă rectilinie sau spirală) și traductor Hall de deplasare liniară

Această posibilitate rezultă din relațiile (6) și (9), dacă mărimea de ieșire X_e a termometrului

devine mărimea de intrare X pentru traductorul Hall de deplasare liniară. Se poate scrie deci :

$$U_H = K_d X = K_d X_e = K_d X_e \cdot \Delta t = K_t \cdot \Delta t, \quad (12)$$

unde, $K_t = K_d K_e$ este o constantă.

Ansamblul format din lamela bimetalică (respectiv tija cu tubul de protecție) și traductorul Hall de deplasare liniară poate constitui un termometru, milivoltmetrul mV (fig. 3) putînd fi etalonat direct în unități de temperatură. Pentru realizarea unor astfel de termometre, sonda Hall, prin teaca sa, se fixează rigid de capătul liber al tijei, respectiv lamelei bimetalice, într-o poziție corespunzătoare care să asigure deplasarea acesteia în cîmpul magnetic de inducție B, după direcția $X_e = X$, direcție după care gradientul lui B este constant $\frac{\partial B}{\partial X} = \text{const.}$

5. Posibilitatea realizării unor termometre cu lamelă bimetalică (spirală sau elicoidală) și traductor Hall de unghi

Din relațiile (7) și (11) rezultă că atunci cînd sonda Hall a unui traductor Hall de unghi este rotită cu unghiul $\psi = \varphi$, în cîmpul magnetic omogen de inducție B, se poate scrie :

$$U_H = K_\psi \cos \psi = K_\psi \cos \varphi = K_\psi \cos (K_\varphi \cdot \Delta t), \quad (12)$$

ceea ce înseamnă că milivoltmetrul mV poate f etalonat direct în unități de temperatură, U_H fiind o măsură a acesteia. Sonda Hall se fixează rigid de cilindrul metalic la care este fixat capătul liber *3* al lamelei spirale, respectiv de tija rotită de capătul liber *4* al lamelei elicoidale.

Așadar, ansamblul format dintr-o lamelă bimetalică (spirală sau elicoidală) și un traductor Hall de unghi poate constitui un termometru.

6. Date experimentale

Pentru realizarea unui traductor Hall de deplasare liniară a fost realizat un circuit magnetic [7] de forma și dimensiunile celui prezentat în figura 4 (dimensiunile în mm). Ca sondă Hall a fost utilizată una confecționată din material indigen (Ge-*n*), avînd dimensiunile 2,8 × × 1,4 × 0,3 mm³ și $\rho = 0{,}35\ \Omega$ cm.

Pentru $D = 3$ mm $I_1 = I_2 = 2$A și $I_c = 2$ mA, s-a obținut dependența $U_H = f(X)$ reprezentată în figura 5, ea fiind liniară pentru $-1{,}8$ mm $< X < +1{,}8$ mm. Pentru acest interval de liniaritate a rezultat o sensibilitate a traductorului Hall de deplasare liniară $K_d = 2{,}25$ mV/mm.

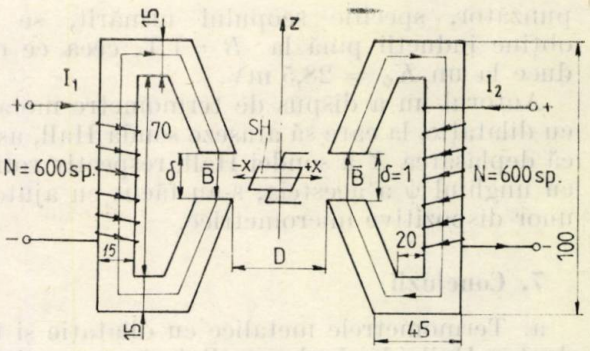


Fig. 4. Circuitul magnetic al traductorului Hall de deplasare liniară, realizat de autor.

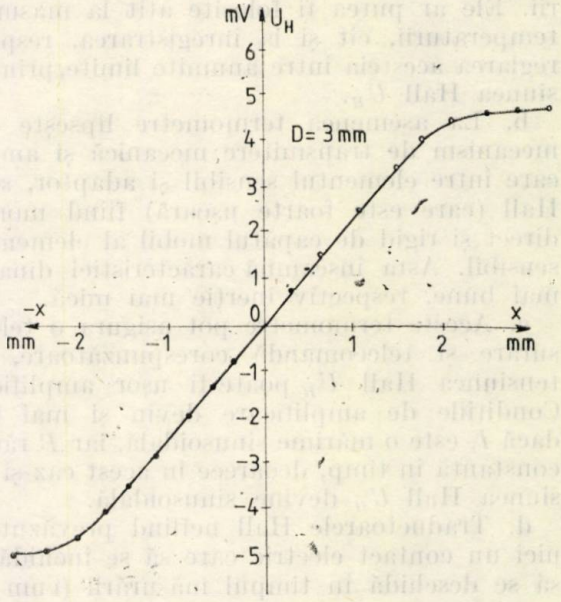


Fig. 5. Dependența $U_H = f(x)$ obținută experimental cu traductorul Hall de deplasare liniară realizat.

Ca traductor Hall de unghi poate fi folosit cel experimentat de autor cu ocazia altei lucrări [9], la care dependența $U_H = f(\psi)$ este cea reprezentată în figura 6, rezultînd $K_\psi = 5{,}7$ mV. Dacă se realizează un circuit magnetic cores-

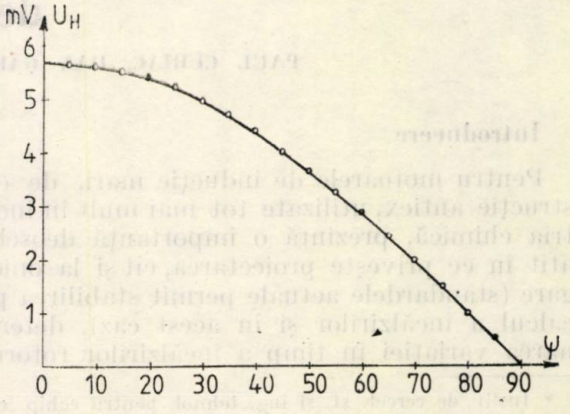


Fig. 6. Dependența $U_H = f(\psi)$ obținută experimental cu traductorul Hall de unghi, realizat.

punzător, specific scopului urmărit, se pot obține inducții pînă la $B = 1$ T, ceea ce conduce la un $K_\psi = 28{,}5$ mV.

Autorul nu a dispus de termometre metalice cu dilatație, la care să atașeze sonda Hall, astfel că deplasarea X a sondei Hall, respectiv rotirea cu unghiul ψ a acesteia, s-au făcut cu ajutorul unor dispozitive micrometrice.

7. Concluzii

a. Termometrele metalice cu dilatație și traductor Hall (de deplasare liniară, respectiv de unghi) constituie o noutate în tehnica măsurării, ele completînd în mod avantajos celelalte metode de măsurare pe cale electrică a temperaturii. Ele ar putea fi folosite atît la măsurarea temperaturii, cît și la înregistrarea, respectiv reglarea acesteia între anumite limite, prin tensiunea Hall U_H.

b. La asemenea termometre lipsește orice mecanism de transmitere mecanică și amplificare între elementul sensibil și adaptor, sonda Hall (care este foarte ușoară) fiind montată direct și rigid de capătul mobil al elementului sensibil. Asta înseamnă caracteristici dinamice mai bune, respectiv inerție mai mică.

c. Aceste termometre pot asigura o telemăsurare și telecomandă corespunzătoare, căci tensiunea Hall U_H poate fi ușor amplificată. Condițiile de amplificare devin și mai bune dacă I_c este o mărime sinusoidală, iar B rămîne constantă în timp, deoarece în acest caz și tensiunea Hall U_H devine sinusoidală.

d. Traductoarele Hall nefiind prevăzute cu nici un contact electric care să se închidă sau să se deschidă în timpul măsurării (cum este cazul la alte traductoare electrice) și, drept urmare, sînt evitate scînteile, arcul electric și exploziile, în cazul montării unor asemenea termometre în mediul gazos exploziv.

e. Precizia termometrelor metalice cu dilatație și traductor Hall depinde de tipul elementului sensibil și de precizia cu care se măsoară tensiunea Hall. Asupra sensibilității acestor termometre se poate influența atît prin dimensionarea elementului sensibil, cît și prin I_c respectiv B (deci prin circuitul magnetic).

f. Toate avantajele și calitățile termometrelor metalice cu dilatație, în construcție obișnuită, se păstrează și la cele prevăzute cu traductor Hall de deplasare liniară, respectiv de unghi.

Bibliografie

[1] *Ceaușelu, C.* Măsurări de temperatură în procesele industriale. I.D.T. (sinteză documentară) — 1969.

[2] *Stere, R.* Aparate electrice de măsură și control. E.D.P. — București — 1968.

[3] *Tölle, H.*: Măsurări în instalațiile termice (trad. Lb. germană). E. T. București — 1972.

[4] *Micu, C., Dodoc, P., Diaconescu, GH. și Manolescu, A.* Aparate și sisteme de măsurare în construcția de mașini. E. T. București — 1980.

[5] Instrucțiuni nr. 5—09—72 pentru verificarea termometrelor metalice. E.T. București, 1974.

[6] *Heler, Af.* Posibilitatea realizării unor manometre cu tub elastic Bourdon și traductor Hall indigen. În: E.E.A. — Electrotenica, **32**, nr. 3, București, 1984.

[7] *Heler, Af.* Posibilitatea realizării unor manometre cu membrană elastică și traductor Hall de deplasare liniară. În: Energetica — București.

[8] *Heler, Af.* Posibilitatea realizării unor manometre cu burduf și traductor Hall de deplasare liniară pentru măsurarea, înregistrarea și reglarea presiunii fluidelor. În: Construcția de mașini — București.

[9] *Heler, Af.* Posibilitatea folosirii unui traductor Hall de unghi, indigen, asamblat cu un tub elastic Bourdon răsucit, spiral sau elicoidal, la măsurarea, înregistrarea și reglarea presiunii fluidelor. E.E.A. — Electrotehnica **32**, nr. 4, mai 1984 — București.

CZ 621.313 : 621.3.044

Incălzirea rotorului în regimul de scurtcircuit al motorului de inducție

PAUL CURIAC, DAN GÂRBEA, DANA POPESCU* — BUCUREȘTI

Introducere

Pentru motoarele de inducție mari, de construcție antiex, utilizate tot mai mult în industria chimică, prezintă o importanță deosebită atît în ce privește proiectarea, cît și la omologare (standardele actuale permit stabilirea prin calcul a încălzirilor și în acest caz), determinarea variației în timp a încălzirilor rotorului blocat. Astfel se poate aprecia corect timpul t_E necesar pentru ca rotorul să atingă temperatura limită în acest regim, plecîndu-se de la temperatura stabilizată în funcționarea normală și temperatura ambiantă maximă [1].

Utilizîndu-se analiza cu elemente finite, în lucrare se propune o metodă de simulare a încălzirii rotorului blocat al mașinii de inducție de putere, pentru secțiuni transversale ale barelor rotorice de diferite forme.

* Instit. de cercet. șt. și ing. tehnol. pentru echip. energetic (ICSITEE); Centrul de perf. a pers. din transp. și telecom; ICSITEE — București

Rezultatele calculelor sînt comparate apoi cu cele obținute experimental pentru un model electromagnetic.

1. Modelul matematic

Pentru calculul încălzirilor din rotor s-a luat în considerație secțiunea transversală mediană dintre două canale de ventilație, neglijîndu-se fluxul termic în sens axial. Din această secțiune s-a presupus un sector de o jumătate de pas de crestătură rotorică, spre exemplu ca în figura 1.

S-au făcut următoarele ipoteze simplificatoare, referitoare la schimburile termice [2]:

— stratul de aer aflat între bară și armătura rotorică a fost considerat ca un „solid", luîndu-se în considerație numai conductibilitatea sa internă;

— transferul de căldură către jugul rotoric a fost considerat neglijabil, dată fiind durata scurtă a încălzirii;

— „curgerea" fluidului de răcire prin întrefier este laminară, caz în care rezistența termică derivă numai din conductibilitatea aerului.

Conform celor de mai sus, pentru un domeniu ca cel reprezentat în figura 1 are valabilitate ecuația Fourier de forma:

$$\frac{\partial}{\partial t}(c \cdot \gamma \cdot T) = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q, \qquad (1)$$

în care:

T este temperatura, în °C;
c — căldura specifică, în kJ/kg °C;
γ — greutatea specifică, în daN/m³;
t — timpul, în h;
λ — coeficientul de conductibilitate, în kJ/m h°C;
q — debitul de căldură al surselor interioare, în kJ/m³ h.

Condițiile la limită sînt următoarele:

a. $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$, pentru $t \geqslant 0$, pe frontierele formate pe axa secțiunii barei, respectiv a dintelui (din motive de simetrie);

b. $T = \text{const}$, pentru $t \geqslant 0$, pe frontiera inferioară (ipoteza de adiabaticitate);

$$\text{c. } \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} n_x + \frac{\partial T}{\partial y} n_y \right) + \alpha (T - T_E) = 0,$$

pentru frontiera de la suprafața rotorului, spre întrefier; α este coeficientul de convecție, în kJ/m²·h·°C, iar T_E — temperatura aerului din întrefier, în °C (n — normala la suprafață);

d. $T = T_E$, pentru $t = 0$, în întreg domeniul considerat.

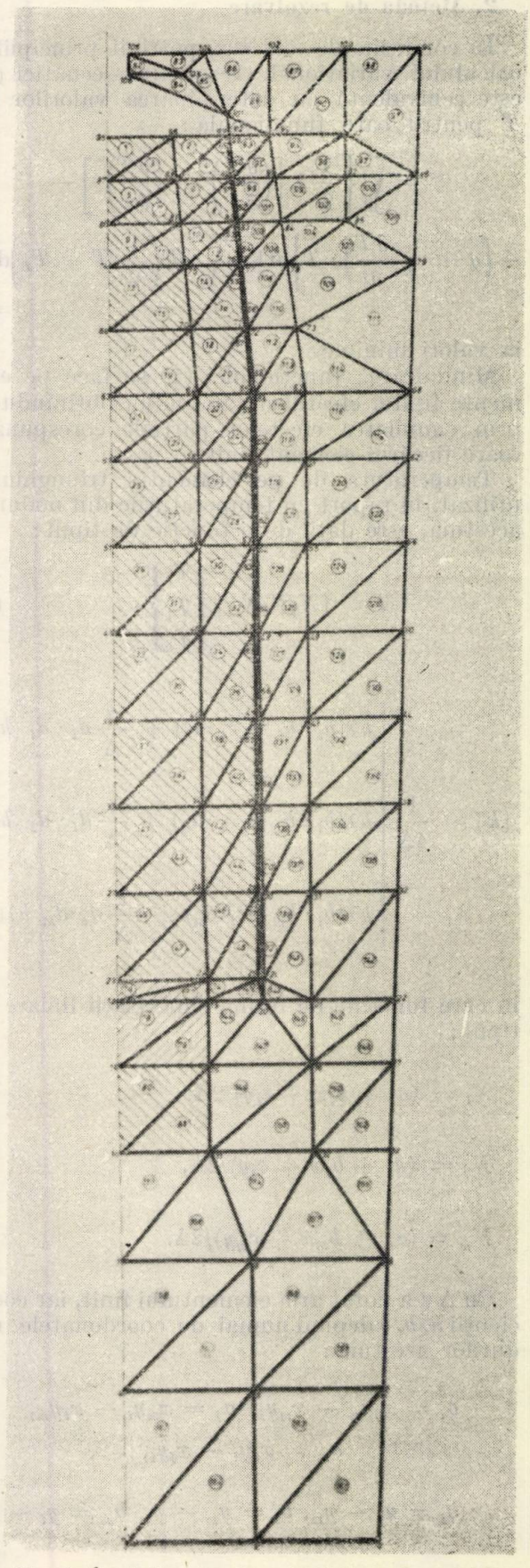


Fig. 1. Împărțirea în elemente finite a domeniului.

2. Metoda de rezolvare

În condițiile de mai sus, potrivit principiilor calculului variațional, rezolvarea ecuației (1) este echivalentă cu determinarea valorilor lui T pentru care funcționala:

$$\mathcal{F} = \int_V \left\{ \frac{1}{2}\lambda\left[\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2\right] - \left(q - c\gamma\frac{\partial T}{\partial t}\right)\cdot T \right\} \mathrm{d}V + \int_S \alpha T\left(\frac{1}{2}T - T_E\right)\mathrm{d}S, \tag{2}$$

ia valori minime.

Minimizarea funcționalei (2) se face pe elemente finite, efectul de ansamblu obținîndu-se prin cumularea efectelor parțiale corespunzătoare fiecărui element finit în parte.

Temperatura de pe elementul triunghiular utilizat, în raport cu temperaturile din nodurile acestuia, este dată de o funcție de tipul:

$$T = [N_i N_j N_m]\begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_m \end{Bmatrix}, \tag{3}$$

Minimizînd funcționala (2) prin anularea derivatei acesteia în raport cu temperatura, se obține ecuația elementului finit:

$$[C]\frac{\partial T}{\partial t} + [k]\{T\} - \{F\} = 0, \tag{4}$$

în care:

$[C] = \dfrac{\gamma c \Delta}{12}\begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$ este matricea călduri-lor specifice;

$[k]$ — matricea de conductibilitate a elementului finit;

$\{T\}$ — vectorul temperaturilor din nodurile elementului;

$\{F\}$ — vectorul încărcărilor termice nodale.

Matricea de conductibilitate are forma:

$$[k] = \frac{1}{4\Delta}\begin{bmatrix} h\lambda(b_i\cdot b_i + c_i\cdot c_i) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_i\cdot d_i & h\lambda(b_j\cdot b_i + c_j\cdot c_i) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_j\cdot d_i & h\lambda(b_m\cdot b_i + c_m\cdot c_i) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_m\cdot d_i \\ h\lambda(b_i\cdot b_j + c_i\cdot c_j) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_i\cdot d_j & h\lambda(b_j\cdot b_j + c_j\cdot c_j) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_j\cdot d_j & h\lambda(b_m\cdot b_j + c_m\cdot c_j) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_m\cdot d_j \\ h\lambda(b_i\cdot b_m + c_i\cdot c_m) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_i\cdot d_m & h\lambda(b_j\cdot b_m + c_j\cdot c_m) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_j\cdot d_m & h\lambda(b_m\cdot b_m + c_m\cdot c_m) + \dfrac{\alpha}{\Delta}d_m\cdot d_m \end{bmatrix}.$$

în care funcțiile de formă sînt relații liniare de tipul:

$$N_i = (a_i + b_i x + c_i y)/2\Delta,$$

$$N_j = (a_j + b_j x + c_j y)/2\Delta,$$

$$N_m = (a_m + b_m x + c_m y)/2\Delta.$$

Cu Δ s-a notat aria elementului finit, iar coeficienții a, b, c depind numai de coordonatele nodurilor acestuia:

$$a_i = x_j y_m - x_m y_j,\quad a_j = x_m y_i - x_i y_m,\quad a_m = x_i y_i - x_j y_i,$$

$$b_i = y_j - y_m,\quad b_j = y_m - y_i,\quad b_m = y_i - y_j,$$

$$c_i = x_m - x_j,\quad c_j = x_i - x_m,\quad c_m = x_j - x_i.$$

Produsele $d_i \cdot d_j$ sînt date de relația:

$$d_i\cdot d_j = a_i\cdot a_j\cdot I_0 + (a_i\cdot b_j + a_j\cdot b_i)I_1 + (a_i\cdot c_j + a_j\cdot c_i)I_2 + (b_i\cdot c_j + b_j\cdot c_i)I_3 + b_i\cdot b_j\cdot I_4 + c_i\cdot c_j\cdot I_5.$$

În această expresie $I_0 \div I_5$ sînt integrale pe laturile elementelor finite cu schimb prin flux termic impus, respectiv prin convecție.

Ele au expresiile:

$$I_0 = \int_S dS = h\cdot L_{kl};\quad L_{kl} = \sqrt{(x_k - x_l)^2 + (y_k - y_l)^2},$$

$$I_1 = \int_S x\cdot dS = \frac{1}{2}h\cdot L_{kl}\cdot(x_k + x_l),$$

$$I_2 = \int_S y \cdot dS = \frac{1}{2} h \cdot L_{kl} \cdot (y_k + y_l),$$

$$I_3 = \int_S x \cdot y \cdot dS = \frac{1}{6} h \cdot L_{kl} \cdot (x_k \cdot y_l + x_l \cdot y_k + 2x_k y_k + 2x_l \cdot y_l),$$

$$I_4 = \int_S x^2 \cdot dS = \frac{1}{3} h \cdot L_{kl} \cdot (x_k^2 + x_l^2 + x_k \cdot x_l),$$

$$I_5 = \int_S y^2 \cdot dS = \frac{1}{3} h \cdot L_{kl} \cdot (y_k^2 + y_l^2 + y_k \cdot y_l),$$

în care L_{kl} este lungimea laturii care schimbă căldură prin convecție, iar h este grosimea corpului.

Termenul liber din ecuația (4) este :

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} \frac{q\Delta h}{3} + \frac{\alpha T_E}{2\Delta}(a_i \cdot I_0 + b_i \cdot I_1 + c_i \cdot I_2) \\ \frac{q\Delta h}{3} + \frac{\alpha T_E}{2\Delta}(a_j \cdot I_0 + b_j \cdot I_1 + c_j \cdot I_2) \\ \frac{q\Delta h}{3} + \frac{\alpha T_E}{2\Delta}(a_m \cdot I_0 + b_m \cdot I_1 + c_m \cdot I_1) \end{Bmatrix}.$$

Dacă se adoptă o variație liniară a temperaturilor în intervalul de timp Δt considerat, descrisă de funcțiile de formă $[N]$ și se notează cu $\{T\}_i$ vectorul temperaturilor în nodurile elementului finit la începutul intervalului și cu $\{T\}_j$ același vector la finele intervalului de timp, expresia temperaturii este :

$$\{T\} = [N] \begin{Bmatrix} \{T\}_i \\ \{T\}_j \end{Bmatrix} =$$

$$= [N_i N_j] \begin{Bmatrix} \{T\}_i \\ \{T\}_j \end{Bmatrix} = N_i\{T\}_i + N_j\{T\}_j, \qquad (5)$$

în care : $N_i = 1 - \frac{t}{\Delta t}$ și $N_j = \frac{t}{\Delta t}$.

Utilizînd metoda reziduurilor (Galerkin) pentru rezolvarea sistemului de ecuații (4), trebuie realizată condiția :

$$\int_0^{\Delta t} [N]^t \cdot L(T) \cdot dt = \int_0^{\Delta t} [N]^t \cdot \left([C] \frac{\partial T}{\partial t} + [k]\{T\} - \{F\} \right) \cdot dt = 0. \qquad (6)$$

Derivînd expresia (5) în raport cu timpul și înlocuind în (6) se obține sistemul :

$$\begin{bmatrix} \left(-\frac{1}{2}[C] + \frac{\Delta t}{3}[k]\right) & \left(\frac{1}{2}[C] + \frac{\Delta t}{6}[k]\right) \\ \left(-\frac{1}{2}[C] + \frac{\Delta t}{6}[k]\right) & \left(\frac{1}{2}[C] + \frac{\Delta t}{3}[k]\right) \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{T\}_i \\ \{T\}_j \end{Bmatrix} - \frac{\Delta t}{2} \begin{Bmatrix} \{F\}_i \\ \{F\}_j \end{Bmatrix} = 0.$$

Folosind a doua ecuație matriceală din sistemul de mai sus, se obține — pentru rezolvarea pas cu pas a problemei — următoarea formulă de recurență :

$$\left([C] + \frac{2\Delta t}{3}[k] \right) \{T\}_j =$$

$$= \left([C] - \frac{\Delta t}{3}[k] \right) \cdot \{T\}_i + \Delta t\{F\}_j. \qquad (7)$$

Cu ajutorul acestei relații se determină temperaturile $\{T\}_j$ în nodurile elementului finit la momentul j funcție de temperaturile $\{T\}_i$ în noduri la momentul precedent i.

Notînd :

$$\left([C] + \frac{2\Delta t}{3}[k] \right) = [k]_{et},$$

$$\left([C] - \frac{\Delta t}{3}[k] \right) = [p],$$

$$\Delta t\{F\}_j = \{F\} = \text{constant},$$

ecuația elementului finit se scrie acum ca :

$$[k]_{et} \cdot \{T\}_j = [p]\{T\}_j + \{F\}. \qquad (8)$$

Pentru fiecare pas de timp se pot constitui acum succesiv ecuațiile (8) pentru toate elementele finite considerate, asamblîndu-le, pe măsura constituirii lor, în ecuația generală :

$$[K]_t \{T\}_j = \{F\}_t, \qquad (9)$$

în care :

$$[K]_t = \left(\sum_1^m [k]_{et} \right).$$

Prin rezolvarea ecuației (9) se determină temperaturile în toate nodurile rețelei la momentul respectiv. Folosind valorile astfel calculate ca valori la începutul pasului de timp, se poate relua calculul, determinînd temperaturile la momentul următor.

În scopul determinării termenului q din ecuația (1) — prin multiplicarea cu rezistența corespunzătoare a pătratului curentului prin fiecare bandă conductoare dintre cele m în care s-a împărțit secțiunea transversală a barei rotorice — s-a utilizat o metodă numerică de calcul [4]. În acest fel, fiecare din cele m benzi amintite anterior, prezentînd, o schemă de substituire ale cărei elemente formează un cuadripol în π, schema echivalentă a întregului conductor s-a obținut prin legarea în cascadă a tuturor cuadripolilor echivalenți [4]; folosind un număr suficient de mare de benzi conductoare, distribuția curentului în fiecare dintre acestea poate fi considerată constantă. Schema logică de calcul a curenților prin benzile conductoare — pentru bara rotorică de orice formă a secțiunii sale transversale — este redată în figura 2 [5].

Pentru determinarea coeficientului α, considerînd „curgerea" aerului prin întrefier laminară (rotorul fiind blocat), s-a utilizat relația: $\alpha = \lambda_{aer}/\delta$, δ fiind mărimea întrefierului [2].

Constatînd că, pentru durata scurtă considerată, aportul adus încălzirii rotorului de schimburile termice, prin întrefier, cu statorul este modest, acesta nu a mai fost luat în considerație.

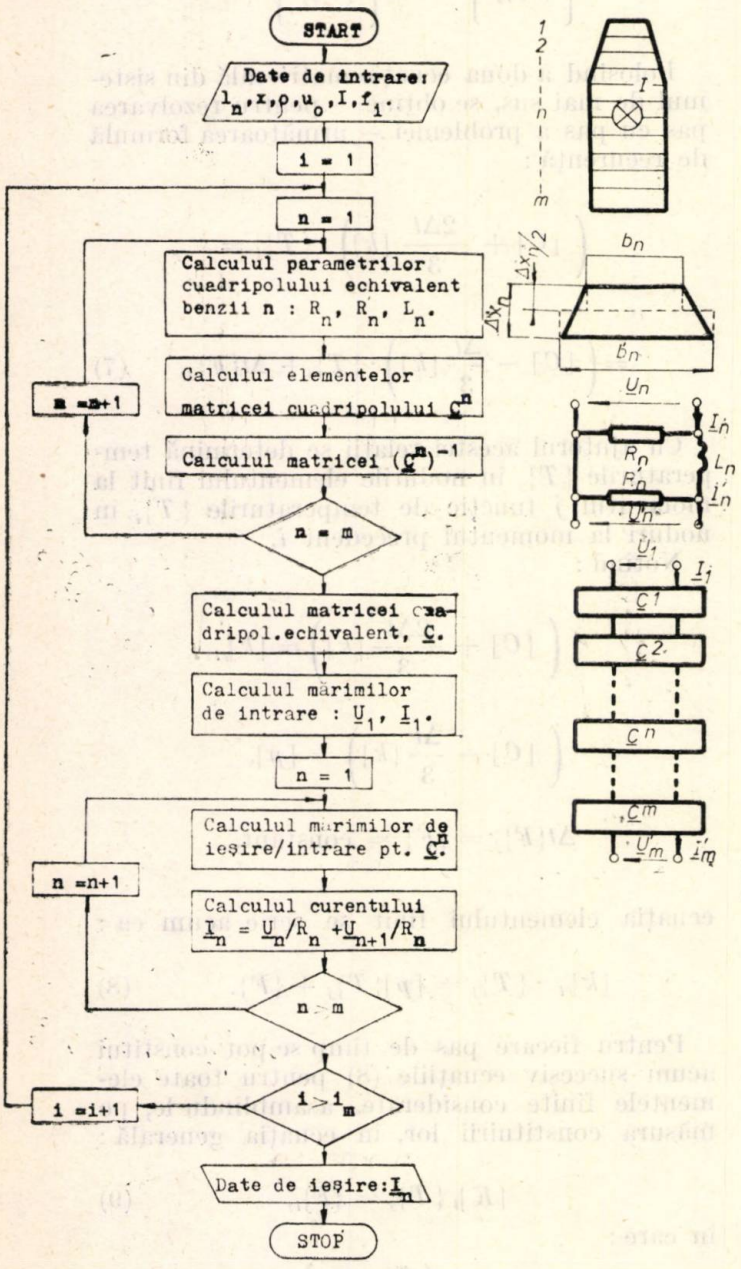


Fig. 2. Organigrama pentru calculul distribuției curenților în secțiunea barei rotorice.

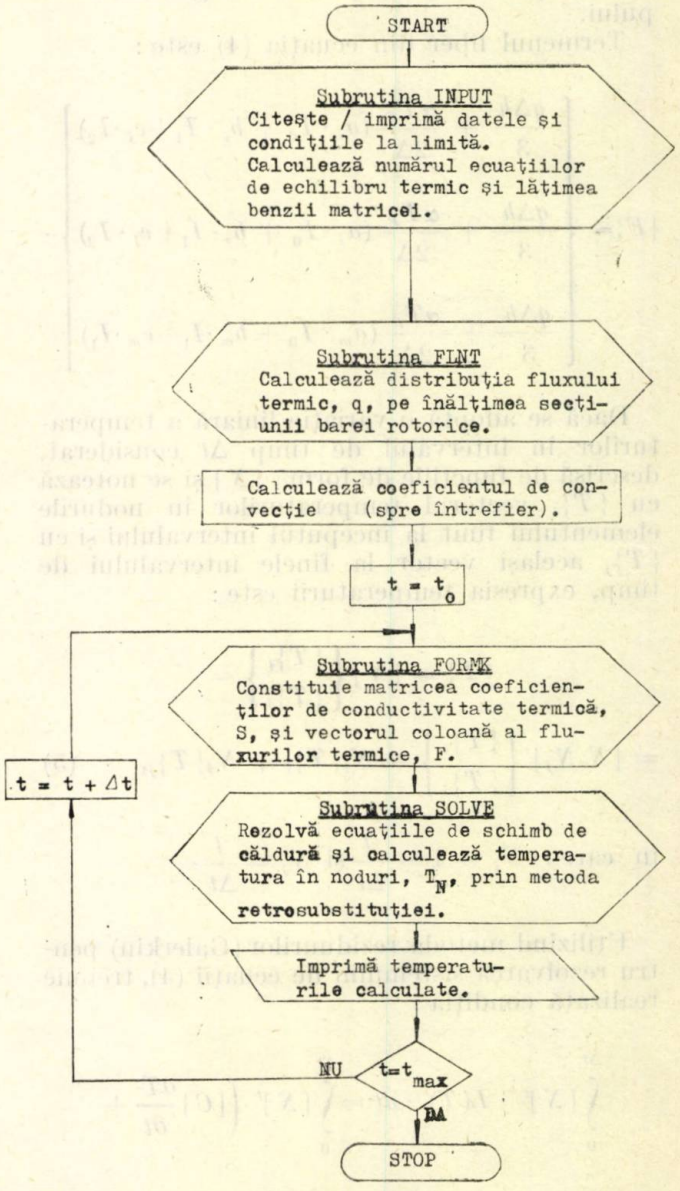


Fig. 3. Schema-bloc a programului principal.

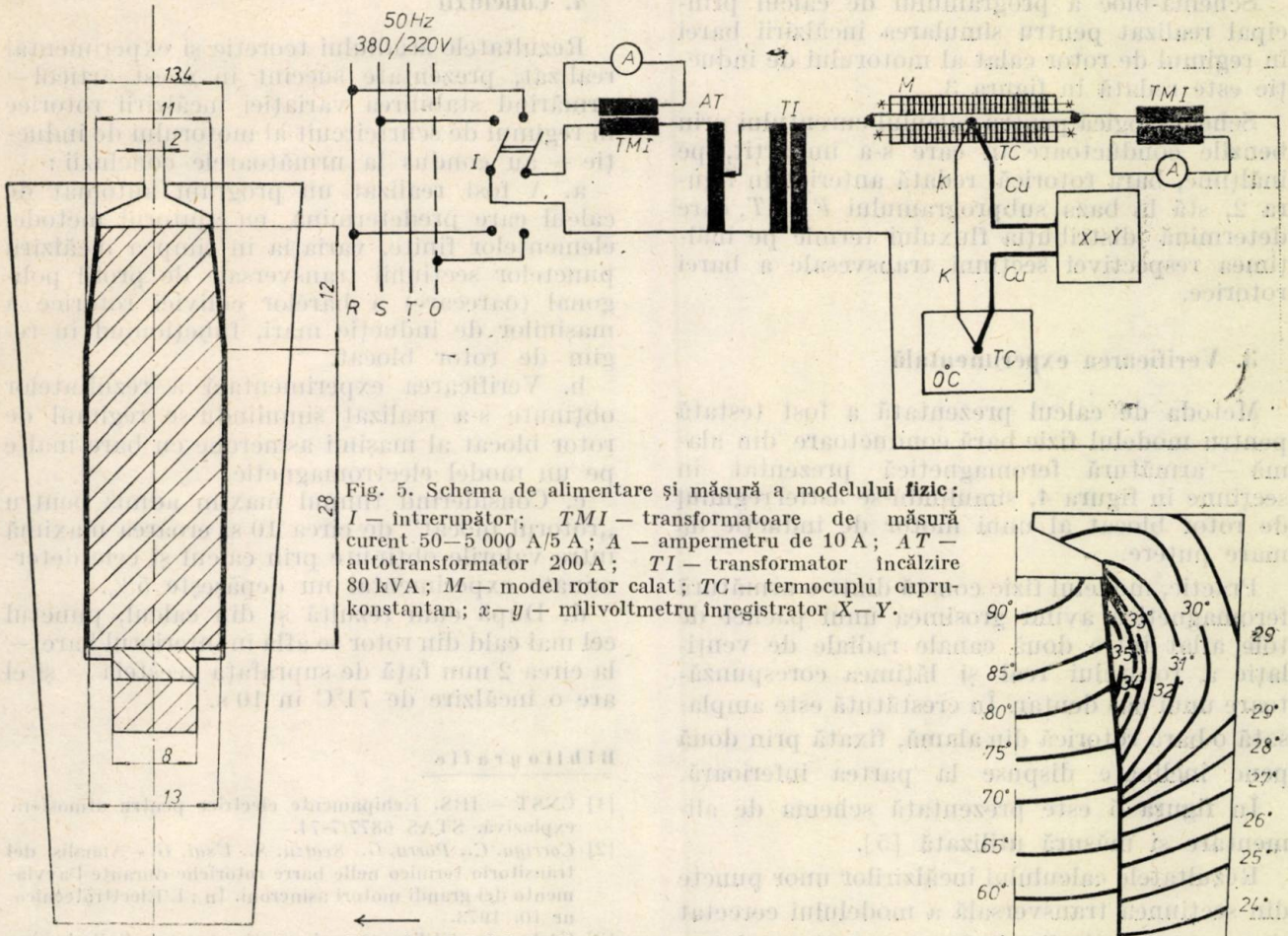


Fig. 5. Schema de alimentare și măsură a modelului fizic: I — întrerupător; TMI — transformatoare de măsură curent 50—5 000 A/5 A; A — ampermetru de 10 A; AT — autotransformator 200 A; TI — transformator încălzire 80 kVA; M — model rotor calat; TC — termocuplu cupru-konstantan; $x-y$ — milivoltmetru înregistrator $X-Y$.

Fig. 4. Modelul bară conductoare — armătură feromagnetică.

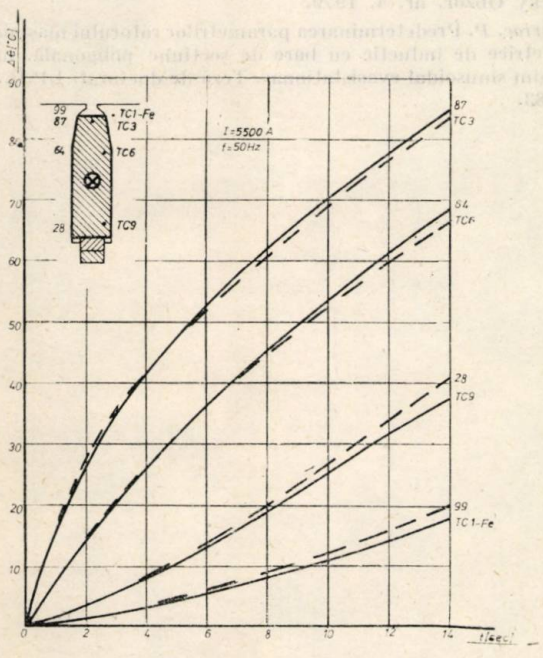


Fig. 6. Încălzirea punctelor considerate din secțiunea modelului: — calculat; — — — măsurat.

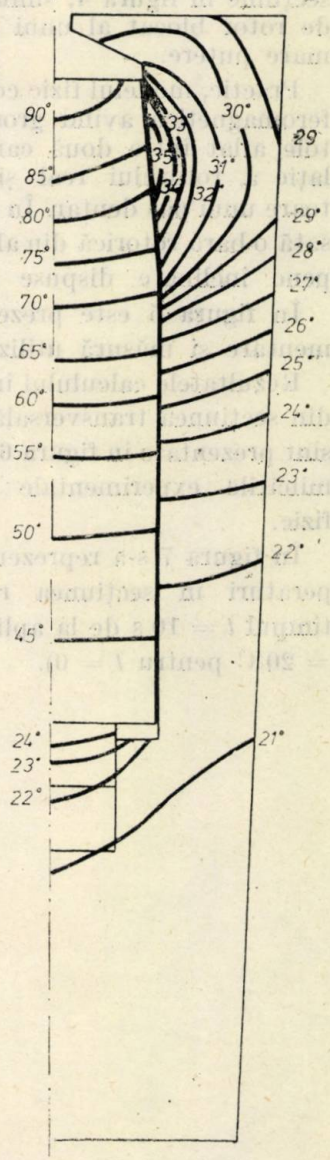


Fig. 7. Cîmpul de temperaturi în secțiunea rotorică la $t = 10$ s.

Schema-bloc a programului de calcul principal realizat pentru simularea încălzirii barei în regimul de rotor calat al motorului de inducție este redată în figura 3.

Schema logică pentru calculul curentului prin benzile conductoare în care s-a împărțit, pe înălțime, bara rotorică, redată anterior în figura 2, stă la baza subprogramului *FLNT*, care determină distribuția fluxului termic pe înălțimea respectivei secțiuni transvesale a barei rotorice.

3. Verificarea experimentală

Metoda de calcul prezentată a fost testată pentru modelul fizic bară conductoare din alamă — armătură feromagnetică prezentat în secțiune în figura 4, simulîndu-se astfel regimul de rotor blocat al unui motor de inducție de mare putere.

Practic, modelul fizic constă dintr-o armătură feromagnetică avînd grosimea unui pachet de tole aflat între două canale radiale de ventilație a rotorului real și lățimea corespunzătoare unui pas dentar. În crestătută este amplasată o bară rotorică din alamă, fixată prin două pene înclinate dispuse la partea inferioară.

În figura 5 este prezentată schema de alimentare și măsură utilizată [5].

Rezultatele calculului încălzirilor unor puncte din secțiunea transversală a modelului cercetat sînt prezentate în figura 6, comparativ cu determinările experimentale realizate pe modelul fizic.

În figura 7 s-a reprezentat și cîmpul de temperaturi în secțiunea rotorică cercetată, la timpul $t = 10$ s de la aplicarea tensiunii ($T_E = 20°C$ pentru $t = 0$).

4. Concluzii

Rezultatele studiului teoretic și experimental realizat, prezentate succint în acest articol — urmărind stabilirea variației încălzirii rotorice în regimul de scurtcircuit al motorului de inducție — au condus la următoarele concluzii :

a. A fost realizat un program automat de calcul care predetermină, cu ajutorul metodei elementelor finite, variația în timp a încălzirii punctelor secțiunii transversale de profil poligonal (oarecare) a barelor coliviei rotorice a mașinilor de inducție mari, funcționînd în regim de rotor blocat.

b. Verificarea experimentală a rezultatelor obținute s-a realizat simulîndu-se regimul de rotor blocat al mașinii asincrone cu bare înalte pe un model electromagnetic.

c. Considerînd timpul maxim admis pentru „rotorul blocat" de circa 10 s, eroarea maximă între valorile obținute prin calcul și cele determinate experimental nu depășește 5%.

d. După cum rezultă și din calcul, punctul cel mai cald din rotor se află în interiorul barei — la circa 2 mm față de suprafața acesteia — și el are o încălzire de 71°C în 10 s.

Bibliografie

[1] CNST — IRS. Echipamente electrice pentru atmosferă explozivă. STAS 6877/7-74.

[2] *Corriga, C., Porru, G., Sealzu, S., Usai, G.* — Annalisi del transitorio termico nelle barre rotoriche durante l'avviamento dei grandi motori asincroni. În : L'Elecltrotecnica, nr 10, 1973.

[3] *Gârbea, D.* Utilizarea analizei prin elemente finite în problemele de schimb de căldură prin conducție. În : Revista transporturilor și telecomunicațiilor, nr. 1, 1979.

[4] *Pelis, J.* Prispevek k vypoctu virivich proudu v tycich rotoru asynchronnich motoru nakratko. În : Elektrotechnicky Obzor, nr. 4, 1979.

[5] *Curiac, P.* Predeterminarea parametrilor rotorului mașinii electrice de inducție cu bare de secțiune poligonală, în regim sinusoidal cvasistaționar. Teză de doctorat, I.P.B., 1983.

CZ 621.316

Contribuții privind realizarea de elemente de automatizare electronice pentru bunuri de larg consum și implicațiile asupra funcționării acestora

DUMITRU MIRON, DUMITRU NICULAE, EMIL PREOTEȘESCU* — BUCUREȘTI

Introducere

Electronica și-a găsit o aplicare largă în domeniul bunurilor electrotehnice de larg consum, atît datorită avantajelor multiple pe care le prezintă, cît și a implicațiilor asupra funcționării acestora.

Firmele cu tradiție din țările dezvoltate au acordat o atenție deosebită echipării mașinilor și aparatelor electrocasnice cu elemente de automatizare electronice, punînd la dispoziția utilizatorilor construcții moderne de mașini și aparate cu un înalt grad de automatizare.

În ultimii ani asistăm la o „întrecere" între producători privind utilizarea microprocesoarelor și robotizarea activităților casnice. În această ordine de idei merită menționate realizările în domeniul mașinilor automate de spălat și al mașinilor electrice de gătit, comandate prin microprocesor, al sistemelor integrate de încălzire electrică a locuințelor etc.

Echiparea aparatelor electrocasnice cu elemente de automatizare electronice are implicații asupra: posibilităților de utilizare, performanțelor funcționale și consumului de energie electrică.

1. Elemente de automatizare electronice realizate la ICPE

Dezvoltarea producției de aparate electrocasnice, precum și a industriei electronice în țara noastră au constituit argumente serioase pentru dezvoltarea unor cercetări proprii în scopul elaborării de soluții și realizării de elemente electronice de automatizare specifice acestei categorii de aparate.

Eforturile depuse în ultimii ani de cercetători de la Institutul de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru electrotehnică — ICPE — București au fost încununate de succesele realizării unor elemente de automatizare electronice, care utilizează în exclusivitate componente și subansamble din țară, creînd premisele renunțării la importul unor astfel de elemente.

* Dr. ing. *Miron, D.*, ing. *Niculae D.* și ing. *Preotășescu E.* Institutul de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru electrotehnică — ICPE — București.

1.1. Elemente de automatizare electronice pentru mașina automată de spălat rufe

Mașina automată de spălat rufe din fabricația I. M. Cugir este echipată cu elemente de automatizare clasice, respectiv, programator electromecanic și limitator de temperatură cu bimetal.

În cadrul preocupărilor pentru introducerea elementelor electronice de automatizare la această mașină s-a acordat o atenție deosebită realizării unui dispozitiv electronic de comandă care să asigure obținerea unor regimuri optime de funcționare.

Dispozitivul electronic conceput, realizat și experimentat pe o mașină automată de spălat rufe, care funcționează după o schemă electrică și hidraulică, ca cea din figura 1, asigură alimentarea mașinii automate de spălat rufe cu apă

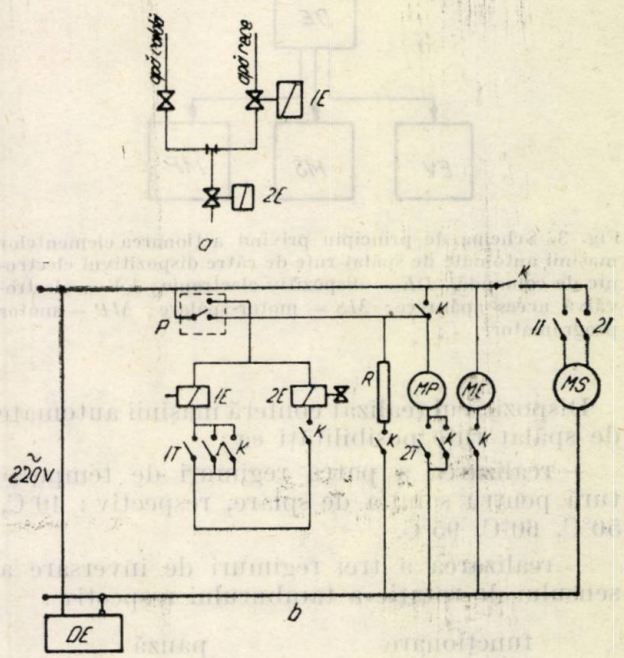


Fig. 1. Schema electrică și hidraulică a mașinii automate de spălat rufe echipată cu dispozitiv electronic de comandă: *a* — schema hidraulică; *b* — schema electrică; *P* — presostat; *1E* — electrovalvă comandă acces apă rece; *2E* — electrovalvă comandă acces apă în mașină; *DE* — dispozitiv electronic; *MP* — motor programator; *ME* — motor pompă evacuare; *MS* — motor spălare; *R* — rezistență; *K* — contact programator; *1T* — *2T* — contacte termostat; *II* — *2I* — contacte inversor; *I* — întrerupător comandă acces apă rece.

caldă și apă rece în amestec la temperatura cerută de tehnologia de spălare, încălzirea soluției de spălare la temperatura corespunzătoare programului ales, precum și funcționarea mașinii în mai multe regimuri de inversare a sensului de rotație a tamburului, caracterizate prin rapoarte diferite între durata activă și pauză.

Schema de principiu a dispozitivului electronic este prezentată în figura 2.

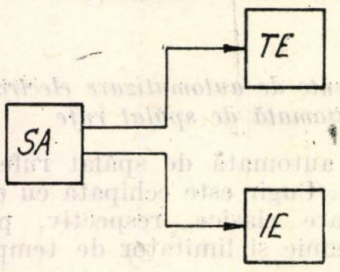


Fig. 2. Schema de principiu a dispozitivului electronic de comandă a mașinii automate de spălat rufe : *SA* — sursă de alimentare ; *TE* — termostat electronic ; *IE* — inversor electronic.

Pentru realizarea acestor funcții, dispozitivul electronic acționează asupra a trei elemente de bază ale mașinii, respectiv electrovalva de acces apă rece, motorul programatorului și motorul de spălare, așa cum se arată în figura 3.

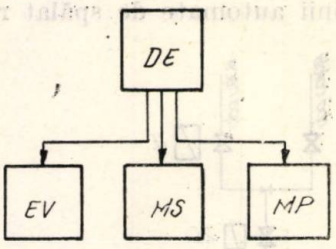


Fig. 3. Schema de principiu privind acționarea elementelor mașinii automate de spălat rufe de către dispozitivul electronic de comandă : *DE* — dispozitiv electronic ; *EV* — electrovalvă acces apă rece ; *MS* — motor-spălare ; *MP* — motor programator.

Dispozitivul realizat conferă mașinii automate de spălat rufe posibilități ca :

— realizarea a patru regimuri de temperatură pentru soluția de splare, respectiv : 40°C, 50°C, 60°C, 95°C.

— realizarea a trei regimuri de inversare a sensului de rotație a tamburului respectiv :

funcționare (secunde)	pauză (secunde)
11	4
5	5
5	10

Aceste regimuri pot fi comandate în mod automat de programator sau alese în mod corespunzător de utilizator.

Printr-o simplificare și adaptare corespunzătoare, schema poate fi utilizată pentru termostatarea încălzitoarelor electrice de spălare.

1.2. Elemente de automatizare electronice pentru comanda și protecția aparatelor electrocalorice

Pentru automatizarea funcționării aparatelor electrocalorice a fost conceput și realizat termostatul electronic de ambianță.

Acest termostat permite reglarea temperaturii ambiante între +5°C și +30°C și menținerea temeperaturii la valoarea stabilită cu o precizie de ±1°C.

Acțiunea termostatului electronic este prezentată, în principiu, în figura 4.

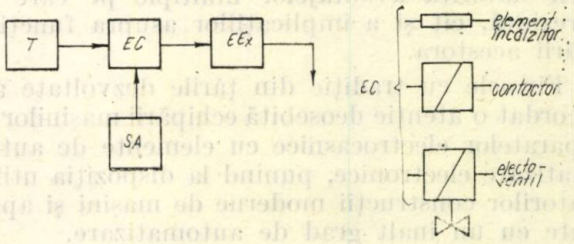


Fig. 4. Schema de principiu privind acționarea elementelor comandate de termostatul electronic de ambianță : *T* — traductor ; *EC* — element de comparație ; *SA* — sursă de alimentare ; *EEx* — element de execuție.

Traductorul de temperatură este un termistor tip CTN din fabricația IPEE-Electroargeș — Curtea de Argeș, iar elementul de execuție, ca și schema electrică aferentă se aleg în funcție de destinația termostatului.

În acest sens a fost concepută o schemă, în care elementul de execuție este un tiristor, și o altă schemă, în care elementul de execuție este un releu intermediar.

Termostatul realizat cu releu se utilizează pentru automatizarea funcționării aparatelor electrocalorice în încăperi și spații închise, în care nu se produc șocuri și vibrații.

Termostatul electronic s-a realizat în două variante constructive : o variantă care-i permite incorporarea în aparatul electrocaloric și o variantă pentru montarea pe perete (fig. 5, 6).

În ambele variante sonda de temperatură este astfel amplasată încît să măsoare cît mai corect temperatura ambiantă.

Caracteristicile deosebite ale termostatului electronic de ambianță și, în special, precizia ridicată a termoreglării îi măresc mult domeniul de aplicare, nu numai în cazul încălzirii cu aparate electrocalorice, ci și în cazul încălzirii cu gaze, apă caldă sau cu aburi comandate prin electroventile.

Ca o variantă a termostatului de ambianță s-a realizat limitatorul electronic de temperatură cu revenire, care asigură protecția termică a produselor electrotehnice la temperaturi de pînă la 150°C.

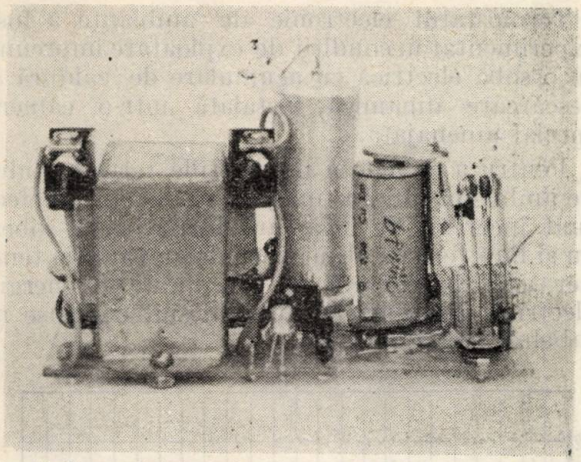


Fig. 5. Termostatul electronic de ambianță, varianta incorporată în aparat.

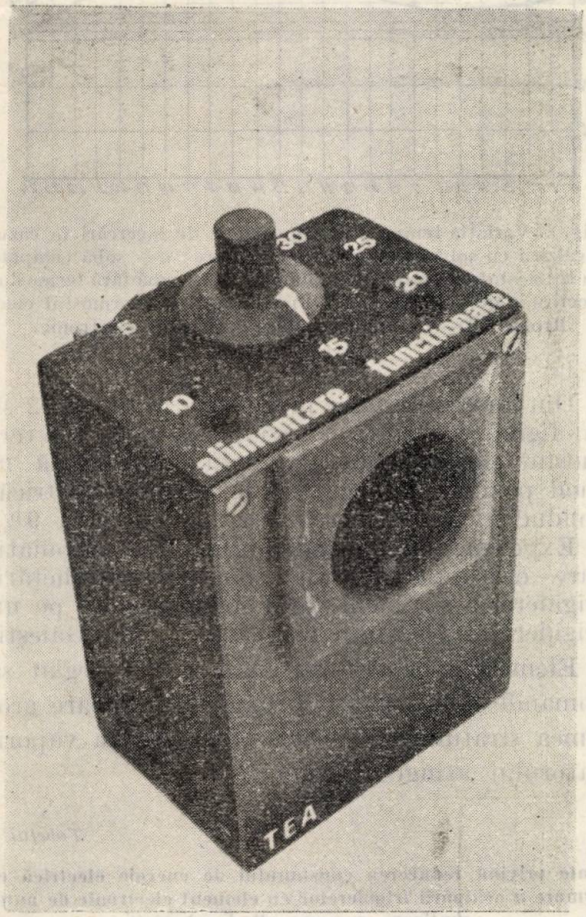


Fig. 6. Termostatul electronic de ambianță, varianta pentru termostatul montat pe perete.

1.3. Element de automatizare electronic pentru comanda dezgheţării frigiderelor

Este cunoscut faptul că depunerea de gheaţă pe suprafaţa vaporizatorului conduce la reducerea performanţelor frigiderului, la creşterea consumului de energie electrică.

Pentru combaterea acestui fenomen s-au realizat sisteme de dezgheţare automată.

Orice sistem de dezgheţare automată presupune un consum de energie pentru înlăturarea stratului de gheaţă fără a scoate din funcţionare frigiderul.

Elementul de automatizare electronic comandă dezgheţarea frigiderului, aşa cum se arată schematic în figura 7.

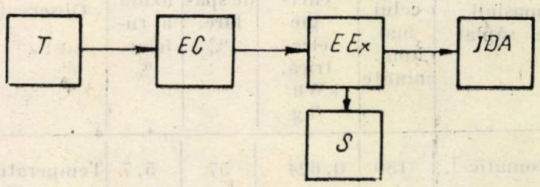


Fig. 7. Schema de principiu a comenzii dezgheţării frigiderului de către elementul electronic de automatizare : *T* — traductor de grosime ; *EC* — element de comparaţie ; *EEx* — element de execuţie ; *IDA* — instalaţie de dezgheţare automată ; *S* — semnalizarea necesităţii dezgheţării.

De remarcat este faptul că acest tip de element de automatizare electronic, cu adaptări corespunzătoare, poate fi utilizat pentru semnalizarea depunerii de gheaţă pe paletele motoarelor eoliene, avertizînd personalul de deservire pentru oprirea şi dezgheţarea istalaţiei.

Dispozitivul electronic prezintă marele avantaj că dezgheţarea este comandată în funcţie de grosimea stratului de gheaţă depus pe suprafaţa vaporizatorului şi poate fi reglată în aşa fel încît procesul de dezgheţare să conducă la reducerea consumului de energie electrică.

2. Experimentări şi rezultate obţinute

Dispozitivul electronic pentru comanda maşinii automate de spălat rufe a fost montat pe o maşină automată tip „Automatic" din fabricaţia I.M. Cugir, căreia i s-au făcut modificări şi adaptări corespunzătoare pentru a permite racordarea la conducta de apă rece şi la conducta de apă caldă, alimentarea simultană cu apă rece şi apă caldă, comanda accesului de apă rece, comanda, în funcţie de temperatură, a motorului programatorului, comanda regimului de funcţionare a tamburului, în funcţie de natura şi gradul de murdărire a rufelor. În acest sens maşina a fost echipată cu o electrovalvă suplimentară cu un programator avînd o ciclogramă adecvată şi cu trei întreruptoare suplimentare, unul pentru comanda alimentării maşinii cu apă rece, cînd nu există apă caldă, şi două pentru comanda regimului de funcţionare a tamburului.

Pentru a evidenţia avantajele echipării maşinii cu dispozitiv electronic s-au efectuat încercări comparative de verificare a posibilităţilor de spălare corespunzătoare programului celui mai lung.

Datele obţinute sînt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Date privind funcționarea mașinii automate de spălat rufe echipate cu dispozitiv electronic de comandă

Tipul mașinii de săplat	Durata ciclului celui mai lung, minute	Consumul specific de energie electrică, kWh/kg	Indice de spălare, %	Grad de uzură a rufelor, %	Observații
Automatic	150	0,624	57	5,7	Temperatura apei reci 20°C
Electronică (cu dispozitiv electronic)	90	0,325	76	4,8	Temperatura apei calde 45°C

Din analiza acestor date rezultă că echiparea mașinii cu dispozitiv electronic de comandă conduce la îmbunătățirea performanțelor de spălare, caracterizate prin creșterea indicelui de spălare și reducerea gradului de uzură a rufelor, în condițiile reducerii consumului de energie electrică. Se menționează totodată faptul că, la mașina echipată cu dispozitiv electronic de comandă durata ciclului de spălare și consumul de energie electrică sînt influențate direct de temperatura apei calde care intră în mașină.

Este demn de remarcat faptul că la mașina echipată cu dispozitiv electronic pentru un program care presupune o tehnologie de spălare la o temperatură mai mică decît temperatura apei calde cu care se alimentează mașina, durata ciclului se reduce la strictul necesar determinat de acțiunea mecanică în procesul de spălare, iar consumul de energie electrică este determinat numai de funcționarea motorului de spălare și de pompa de evacuare.

Tabelul 2

Date privind funcționarea sobei electrice cu acumulare de căldură echipată cu termostat electronic de ambianță

Parametrii urmăriți (mărimea)	U.M.	Modul de funcționare	
		cu termostat de ambianță	fără termostat de ambianță
Temperatura inițială	°C	20	20
Temperatura finală	°C	19	16
Regimul de funcționare		încărcare-descărcare	8 ore încărcare, 16 ore descărcare
Durata încercării	h	24	24
Consumul de energie electrică	kWh	14,6	16

Termostatul electronic de ambianță a fost experimentat în condiții de exploatare împreună cu o sobă electrică cu acumulare de căldură și descărcare dinamică, instalată într-o cameră special amenajată.

Pentru a evidenția implicațiile termostatului de ambianță asupra funcționării sobei s-au efectuat încercări de încărcare-descărcare a sobei, cu și fără termostat, urmărindu-se variația temperaturii în cameră și consumul de energie electrică. Rezultatele obținute sînt cuprinse în tabelul 2 și figura 8.

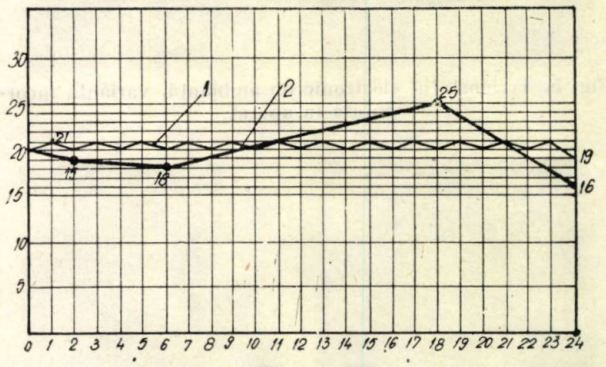


Fig. 8. Variația temperaturii în camera de încercări în cazul încălzirii cu sobă electrică cu acumulare : *a* — sobă echipată cu termostat electronic de ambianță ; *b* — sobă fără termostat electronic de ambianță ; 1 — funcționarea cu termostat electronic ; 2 — funcționarea fără termostat electronic.

Din analiza datelor prezentate în tabelul 2 și în figura 8 rezultă că echiparea sobei cu termostat electronic de ambianță influențează în mod pozitiv și consumul de energie electrică, conducînd la reducerea acestuia cu circa 9%.

Experimentarea elementului de automatizare electronic pentru comanda dezghețării frigiderelor s-a făcut prin instalarea lui pe un frigider de 240 l din fabricația I. F. — Găiești.

Elementul de automatizare a fost reglat să comande dezghețarea în momentul în care grosimea stratului de gheață pe suprafața vaporizatorului atinge 0,5 mm.

Tabelul 3

Date privind reducerea consumului de energie electrică ca urmare a echipării frigiderelor cu element electronic de automatizare a comenzii dezghețării

Frigider testat	Consumul de energie electrică pe o durată de 30 de zile, kWh
240 l fără element de automatizare a comenzii dezghețării	48
240 l cu element de automatizare a comenzii dezghețării	41,8

S-a măsurat consumul de energie electrică pe o perioadă de 30 zile la frigiderul echipat cu element de automatizare electronic și la un frigider de același tip fără element de automatizare.

Datele obținute sînt prezentate în tabelul 3.

Din datale tabelului 3 rezultă că prezența elementului de comandă a dezghețării conduce la reducerea consumului de energie electrică cu circa 15%.

CZ 621.318.3 : 538.244.2 : 538.26

ELECTROMAGNET DE C.C.
DEPENDENȚA FLUX-CURENT
FLUXMETRU ELECTRONIC

Verificare experimetală a schemei magnetice echivalente de tip serie pentru electromagneții de curent continuu

SMARANDA NIȚU*, BUZOIANU ELISABETA** — BUCUREȘTI

Într-un articol anterior [1] s-a prezentat și argumentat teoretic, înlocuirea schemelor magnetice echivalente complicate, cu derivații pentru închiderea fluxului de dispersie, printr-un circuit serie. Justețea modelului propus a fost verificată prin comparație cu rezultatele experimenta'e. S-a întreprins un studiu asupra unui electromagnet rapid cu acționare de scurtă durată, ce funcționează în regim saturat, și anume, electromagnetul cu ajutorul căruia se realizează închiderea întrerupt rului automat de joasă tensiune USOL—800, construit la I.I.S. „Electroaparataj" — București.

1. Rezultate teoretice

Dimensiunile circuitului magnetic și aprecierea traseului real al fluxului magnetic sînt prezentate în figura 1. Bobina, așezată pe coloana centrală, uniform repartizată, are $N = 720$ spire, o rezistență la rece $R = 5{,}8\ \Omega$ și este alimentată la tensiunea $U = 220$ V. Pentru acest electromagnet s-a desenat traseul simplificat al fluxului magnetic în figura 2a, variația reală în figura 2b și în trepte a fluxului în

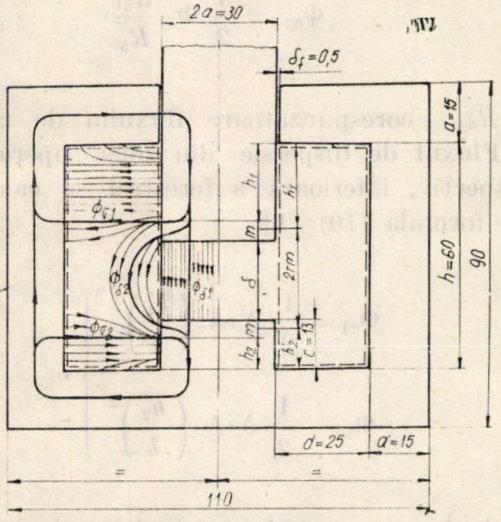


Fig. 1. Aprecierea traseului fluxurilor magnetice.

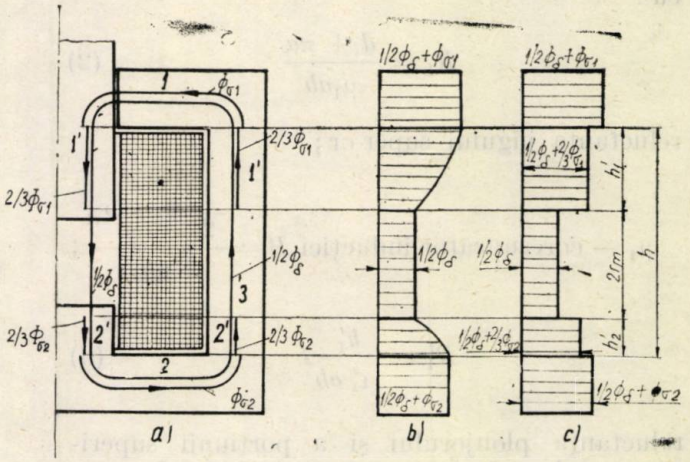


Fig. 2 a — Traseul simplificat al fluxului în miezul magnetic; b — variația fluxului în aria secțiunii transversale a coloanei; c — variația în trepte a fluxului magnetic în coloană cu conservarea tensiunii magnetice [2].

lungul coloanei în figura 2c. Rezultatele nu se modifică dacă se deduc relațiile de calcul pentru o jumătate a circuitului magnetic, care este simetric, și se ține seama că, în acest mod, se obține numai 50% din fluxul magnetic înlănțuit total ψ_t. Schema magnetică echivalentă serie s-a întocmit după modelul din [1] și este prezentată în figura 3.

Dependența între fluxul Φ_δ din zona întrefierului și curentul de excitație rezultă din legea circuitului magnetic:

* Institutul politehnic — București, Facultatea de electrotehnică.

** C.C.S.I.T. — Semiconductoare — Băneasa.

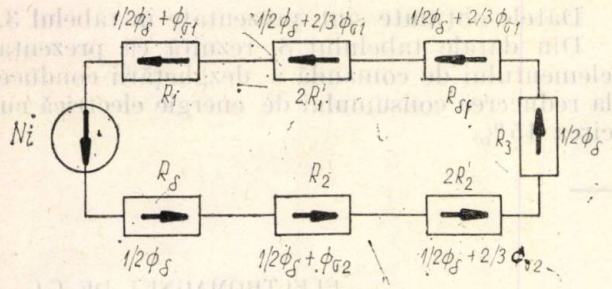


Fig. 3. Schema magnetică echivalentă serie.

$$Ni = \left(\frac{1}{2}\Phi_\delta + \Phi_{\tau 1}\right)(R_1 + R_{\delta f}) + \left(\frac{1}{2}\Phi_\delta + \frac{2}{3}\Phi_{\tau 1}\right)2R_1' + \left(\frac{1}{2}\Phi_\delta + \frac{2}{3}\Phi_{\tau 2}\right)2R_2' + \left(\frac{1}{2}\Phi_\delta + \Phi_{\tau 2}\right)R_2 + \frac{1}{2}\Phi_\delta\left(\frac{1}{2}R_\delta + R_3\right), \quad (1)$$

cu :

$$R_1 = \frac{d + \pi a}{\mu_1 ab} \quad (2)$$

reluctanţa jugului superior ;

μ_1 — corespunzător inducţiei $B_1 = \dfrac{\frac{1}{2}\Phi_\delta + \Phi_{\tau 1}}{ab}$;

$$R_1' = \frac{h_1'}{\mu_1' ab}, \quad (3)$$

reluctanţa plonjorului şi a porţiunii superioare a coloanei, prin care se închide $\Phi_{\tau 1}$;

μ_1' — corespunzător inducţiei $B_1' = \dfrac{\frac{1}{2}\Phi_\delta + \frac{2}{3}\Phi_{\tau 1}}{ab}$;

$$R_2 = \frac{d + \pi a}{\mu_2 ab}, \quad (4)$$

reluctanţa jugului inferior ;

μ_2 — corespunzător inducţiei $B_2 = \dfrac{\frac{1}{2}\Phi_\delta + \Phi_{\tau 2}}{ab}$;

$$R_2' = \frac{h_2'}{\mu_2' ab}, \quad (5)$$

reluctanţa opritorului şi a porţiunii inferioare a coloanei, prin care se închide $\Phi_{\sigma 2}$;

μ_2' — corespunzător inducţiei $B_2' = \dfrac{\frac{1}{2}\Phi_\delta + \frac{2}{3}\Phi_{\tau 2}}{ab}$;

$$R_3 = \frac{2r_m}{\mu_3 ab}, \quad (6)$$

reluctanţa porţiunii din coloană prin care nu circulă flux de dispersie ;

μ_3 — corespunzător inducţiei $B_3 = \dfrac{\frac{1}{2}\Phi_\delta}{ab}$;

$$R_{\delta f} = \frac{\delta_f}{\mu_0 ab}, \quad (7)$$

reluctanţa întrefierului fix ;

$R_\delta^{-1} = R_{\delta_1}^{-1} + R_{\delta_2}^{-1}$, reluctanţa întrefierului de lucru total cu cele două componente (fig. 1) :

$R_{\delta 1}$ — corespunzătoare fluxului :

$$\Phi_{\delta 1} = \frac{1}{2}\Phi_\delta \frac{R_{\delta 2}}{R_\delta}, \quad (8)$$

care se închide direct între plonjor şi opritor ;

$$\Phi_{\delta 2} = \frac{1}{2}\Phi_\delta \frac{R_{\delta 1}}{R_\delta}. \quad (9)$$

$R_{\delta 2}$ — corespunzătoare fluxului de umflări.

Fluxul de dispersie din zona superioară şi respectiv, inferioară a ferestrei se calculează cu formula (10) [1] :

$$\left.\begin{aligned}\Phi_{\tau 1} &= \frac{1}{2} Ni \Lambda_\tau \left(\frac{h_1'}{h}\right)^2 \\ \Phi_{\tau 2} &= \frac{1}{2} Ni \Lambda_\sigma \left(\frac{h_2'}{h}\right)^2\end{aligned}\right\}, \quad (10)$$

unde Λ_σ este permanenţa de dispersie de-a lungul întregii ferestre.

Pentru calculul reluctanţelor trebuie determinate lungimile h_1', h_2', r_m şi m.

Valoarea lui m se stabilește, la întrefier mare, din condiția ca lungimea celei mai lungi linii de cîmp să nu depășească dublul lățimii ferestrei [2]:

$$\pi\left(\frac{\delta}{2}+m\right)=2d, \tag{11}$$

unde $\delta=\delta_{max}-x$ este valoarea întrefierului după o deplasare x a plonjorului;

d este lățimea ferestrei.

Rezultă:

$$m(x)=\frac{2d}{\pi}-\frac{\delta_{max}-x}{2}, \tag{12}$$

sau:

$$m(x)=m_0+\frac{x}{2}, \tag{13}$$

unde:

$$m_0=m(x=0)=\frac{2d}{\pi}-\frac{\delta_{max}}{2}. \tag{14}$$

În același timp, trebuie ca $m\leqslant\delta$; există o valoare a lui x pentru care m devine mai mare ca δ; această valoare este dată de:

$$m_0+\frac{x^*}{2}=\delta_{max}-x^*;$$

$$x^*=\frac{2}{3}\left(\delta_{max}-m_0\right)=\frac{2}{3}\left(\frac{3}{2}\,\delta_{max}-\frac{2d}{\pi}\right),$$

$$x^*=\delta_{max}-\frac{4d}{3\pi}. \tag{15}$$

Așadar, relația (13) este valabilă pe intervalul $x\in[0, x^*]$, iar pentru $x\in(x^*, \delta_{min})$ se va considera:

$$m(x)=\delta. \tag{16}$$

Pentru dimensiunile din figura 1, cînd $\delta_{max}=24$ mm și $\delta_{min}=2$ mm, din (14) și (15) rezultă:

$$m_0=\left(\frac{2\cdot 25}{\pi}-\frac{24}{2}\right)\cdot 10^{-3}=\left(\frac{50}{\pi}-12\right)\cdot 10^{-3}\cong 0{,}0039\ \text{m},$$

$$x=\left(24-\frac{4\cdot 25}{3\pi}\right)\cdot 10^{-3}=\left(24-\frac{100}{3\pi}\right)\cdot 10^{-3}\cong 0{,}0134\ \text{m}.$$

Cu valoarea lui m astfel determinată s-au calculat reluctanțele întrefierului:

$$R_{\delta 1}=\frac{0{,}024-x}{6\pi}\,10^{10}\,[\mathrm{H}^{-1}],\ \text{pentru}\ x\in[0{,}0{,}022\ m]; \tag{17}$$

$$\left.\begin{aligned}R_\delta&=\left[\frac{6}{0{,}024-x}+\frac{640}{\pi}\ln\frac{0{,}1}{\pi(0{,}024-x)}+\right.\\&\left.+768(0{,}024-x)+166{,}4+\frac{200}{\pi}\right]^{-1}\cdot\frac{10^{10}}{\pi}\,[\mathrm{H}^{-1}],\\&\text{pentru}\ x\in[0{,}0134\ \text{m}],\\R_\delta&=\left[\frac{6}{0{,}024-x}+5232(0{,}024-x)+\right.\\&\left.+166{,}4+\frac{640}{\pi}\ln 3\right]^{-1}\cdot\frac{10^{10}}{\pi}\,[\mathrm{H}^{-1}]\\&\text{pentru}\ x\in(0{,}0134\ \text{m},\ 0{,}022\ \text{m}].\end{aligned}\right\} \tag{18}$$

Se observă că, în figurile 1 și 2 intervin mărimile $h_1'>h_1$ și $h_2'>h_2$, care au fost introduse deoarece pe porțiunile de lungime m ale circuitului magnetic din vecinătatea întrefierului, fluxul Φ_δ iese treptat din miez. Pentru a ține seama de acest fapt s-a calculat $2r_m<(\delta+2m)$, considerînd că numai această lungime a fierului este parcursă de Φ_δ, prelungind la h_1' și h_2' porțiunile străbătute și de fluxul de scăpări transversal. Formulele de calcul pentru aceste lungimi, funcție de dimensiunile circuitului magnetic din figura 1 sînt date în tabelul 1.

Înlocuind (10) în (1) rezută:

$$i=\frac{\Phi_\delta}{N}\cdot\frac{R_1+2R_1'+R_2+2R_2'+R_3+R_{\delta f}+2R_\delta}{1-\frac{\Lambda_\sigma}{k^2}\left[\left(\frac{1}{2}R_1+\frac{1}{2}R_{\delta f}+\frac{2}{3}R_1'\right)h_1'^2+\left(\frac{1}{2}R_2+\frac{2}{3}R_2'\right)h_2'^2\right]}. \tag{19}$$

Tabelul 1

Formule pentru lungimile ce intervin în calculul reluctanțelor circuitului magnetic din figura 1

Deplasarea plonjorului x, mm		$0 \leqslant x \leqslant 13{,}4$		$13{,}4 < x \leqslant 22$	
Dimensiunea	Formula de calcul	Dependența de x	Domeniul de variație, mm	Dependența de x	Domeniul de variație, mm
δ, mm	$\delta_{max} - x$	$24 - x$	$24 \geqslant \delta \geqslant 10{,}6$	$24 - x$	$10{,}6 > \delta \geqslant 2$
m, mm	$\frac{2d}{\pi} - \frac{\delta}{2}$ sau δ	$\frac{50}{\pi} - 12 + \frac{x}{2}$	$3{,}9 \leqslant m \leqslant 10{,}6$	$24 - x$	$10{,}6 > m \geqslant 2$
h_1, mm	$c - m$	$25 - \frac{50}{\pi} - \frac{x}{2}$	$9{,}1 \geqslant h_1 \geqslant 2{,}4$	$x - 11$	$2{,}4 < h_1 \leqslant 11$
h_2, mm	$l - (\delta + 2m) - h_1$	$35 - \frac{50}{\pi} + \frac{x}{2}$	$19{,}1 \leqslant h_2 \leqslant 25{,}8$	$2x - 1$	$25{,}8 < h_2 \leqslant 43$
r_m, mm	$\sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta}{2} + m\right)^2}$	$\sqrt{\frac{x^2}{8} - 6x + 72 - \frac{1\,250}{\pi^2}}$	$14{,}1 \geqslant r_m \geqslant 11{,}9$	$\left(12 - \frac{x}{2}\right)\sqrt{5}$	$11{,}9 > r_m \geqslant 2{,}25$
h'_1, mm	$h_1 + \left(\frac{\delta}{2} + m\right) - r_m$	$35 + \frac{x}{2} - r_m$	$20{,}9 \leqslant h'_1 \leqslant 29{,}8$	$35 + \frac{x}{2} - \left(12 - \frac{x}{2}\right)\sqrt{5}$	$29{,}8 < h'_1 \leqslant 43{,}75$
h'_2, mm	$h_2 + \left(\frac{\delta}{2} + m\right) - r_m$	$25 - \frac{x}{2} - r_m$	$10{,}9 \geqslant h'_2 \geqslant 6{,}4$	$25 - \frac{x}{2} - \left(12 - \frac{x}{2}\right)\sqrt{5}$	$6{,}4 < h'_2 \leqslant 11{,}75$

Fluxul înlănțuit total se calculează observînd că bobina este împărțită în trei segmente (de lungimi h'_1, $2r_m$, h'_2) parcurse de fluxuri diferite :

$$\frac{1}{2}\psi_t = N\frac{h'_1}{h}\left(\frac{1}{2}\Phi_\delta + \frac{2}{3}\Phi_{\tau 1}\right) + N\frac{h'_2}{h}\left(\frac{1}{2}\Phi_\delta + \frac{2}{3}\Phi_{\tau 2}\right) + N\frac{2r_m}{h}\cdot\Phi_{\delta 1} + N\frac{2dr_m - \pi r_m^2/2}{hd}\Phi_{\delta 2}. \quad (20)$$

După gruparea termenilor și înlocuirea valorii lui $\Phi_{\delta 2}$ din (9), se obține :

$$\frac{1}{2}\psi_t = N\left[\frac{1}{2}\Phi_\delta + \frac{2}{3h}(\Phi_{\tau 1}h'_1 + \Phi_{\tau 2}h'_2) - \frac{1}{2}\Phi_\delta\frac{R_{\delta 1}}{R_\delta}\cdot\frac{\pi r_m^2}{hd}\right]. \quad (21)$$

Dar $\psi_t = N\Phi_m$ rezultă :

$$\frac{1}{2}\Phi_m = \frac{1}{2}\Phi_\delta\left(1 - \frac{R_{\delta 1}}{R_\delta}\cdot\frac{\pi r_m^2}{hd}\right) + \frac{2}{3h}(\Phi_{\tau 1}h'_1 + \Phi_{\tau 2}h'_2), \quad (22)$$

sau :

$$\Phi_m = \Phi_\delta\left(1 - \frac{R_{\delta 1}}{R_\delta}\cdot\frac{\pi r_m^2}{hd}\right) + \frac{2}{3h^3}Ni\Lambda_\tau(h'^3_1 + h'^3_2). \quad (23)$$

Cu relațiile (2) ... (23) se pot trasa curbele :

$$\Phi_\delta = f_1(i, x) \text{ și } \Phi_m = f_2(i, x),$$

printr-un calcul iterativ, a cărui schemă logică este prezentată în figura 4 [1]. Curbele obținute sînt trasate în figurile 5a și 5b (pentru caracteristica de magnetizare din figura 6).

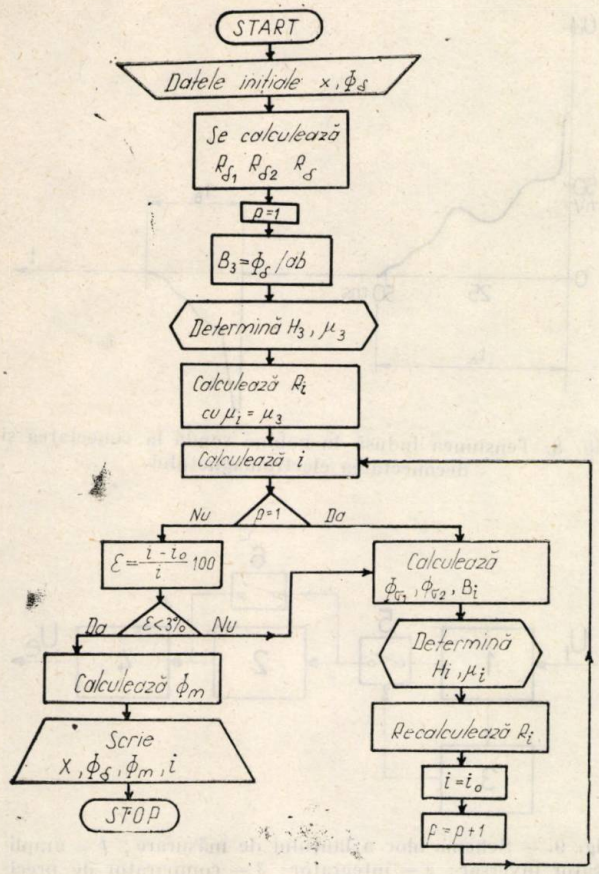


Fig. 4. Organigrama metodei iterative de calcul al dependenței flux-curent [1].

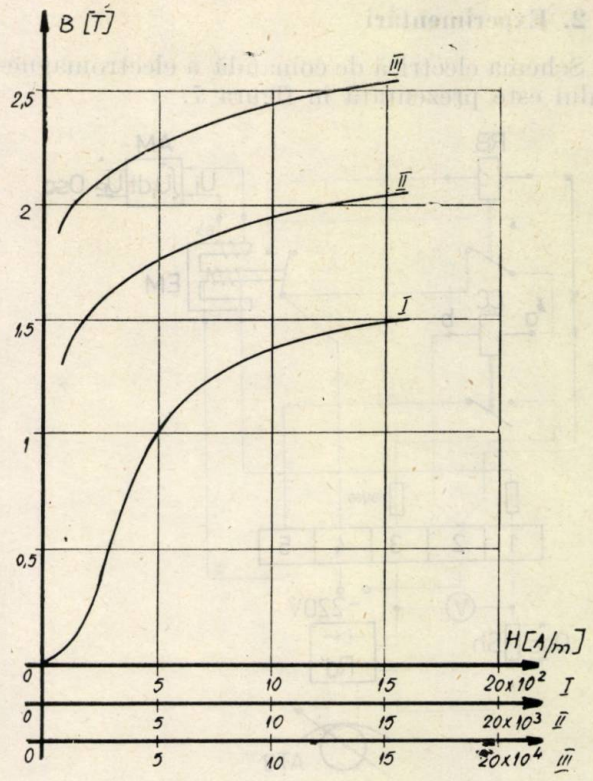
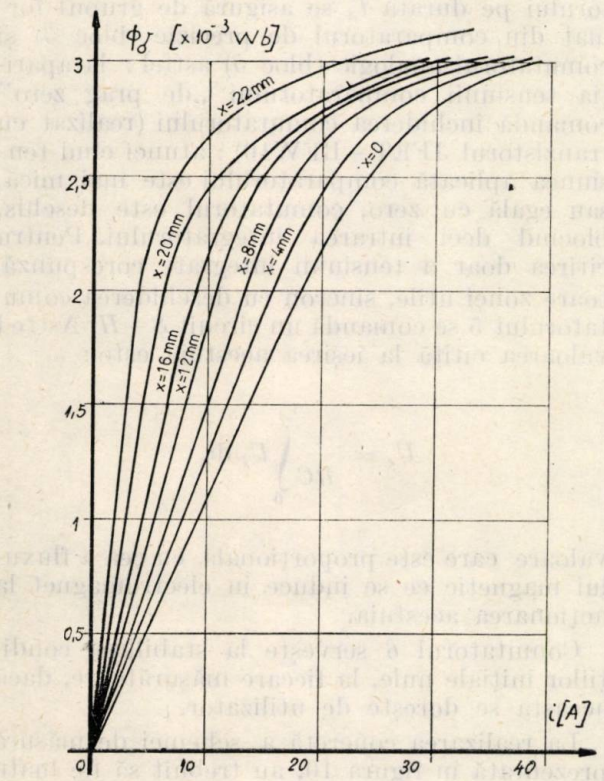


Fig. 6. Curba de magnetizare a materialului.



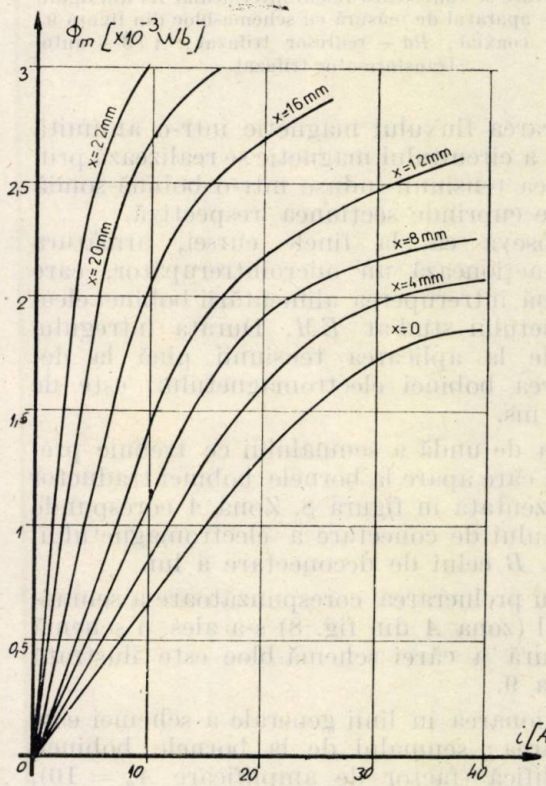


Fig. 5. *a* — Variația fluxului în întrefier $\Phi_\delta = f_1(i, x)$; *b* — variația fluxului mediu $\Phi_m = f_2(i, x)$.

2. Experimentări

Schema electrică de comandă a electromagnetului este prezentată în figura 7.

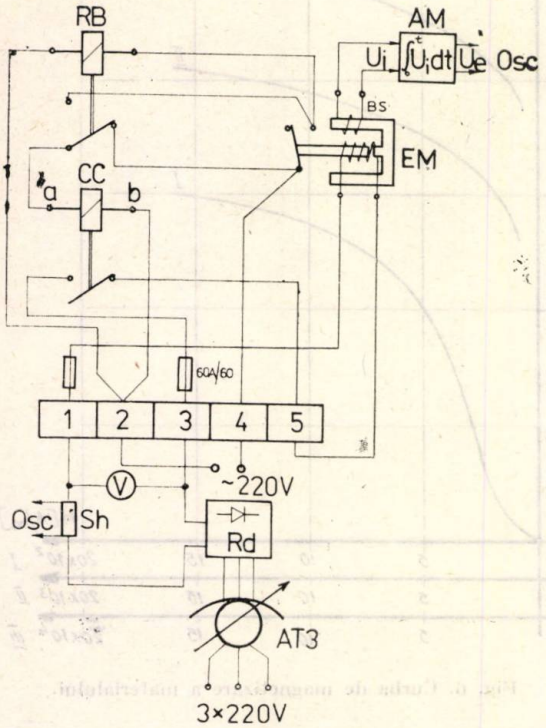


Fig. 7. Schema acționării cu electromagnet a închiderii întreruptorului USOL 800: *EM* — electromagnetul studiat; *CC* — contactor de comandă; *RB* — releu de blocare; *ab* — bornele la care se conectează releul intermediar *RI* din figura 13; *AM* — aparatul de măsură cu schema-bloc din figura 9; *Sh* — șunt coaxial; *Rd* — redresor trifazat; *AT3* — autotransformator trifazat.

Măsurarea fluxului magnetic într-o anumită secțiune a circuitului magnetic se realizează prin integrarea tensiunii induse într-o bobină-sondă *BS*, care cuprinde secțiunea respectivă.

Se observă că, la finele cursei, armătura mobilă acționează un microîntrerupător, care determină întreruperea alimentării bobinei electromagnetului studiat *EM*. Durata întregului ciclu (de la aplicarea tensiunii pînă la deconectarea bobinei electromagnetului) este de 45...50 ms.

Forma de undă a semnalului ce trebuie prelucrat și care apare la bornele bobinei traductor este prezentată în figura 8. Zona *A* corespunde fenomenului de conectare a electromagnetului, iar zona *B* celui de deconectare a lui.

Pentru prelucrarea corespunzătoare a semnalului util (zona *A* din fig. 8) s-a ales o schemă de măsură a cărei schemă-bloc este ilustrată în figura 9.

Funcționarea în linii generale a schemei este următoarea: semnalul de la bornele bobinei, se amplifică (factor de amplificare $A_u = 10$), se integrează pe durata t_A după care se memorează cu un circuit *S—H*. Funcționarea integratorului pe durata t_A se asigură de grupul format din comparatorul de precizie (bloc *3*) și comutatorul analogic (bloc *5*) astfel: la apariția tensiunii comparatorului „de prag zero" comandă închiderea comutatorului (realizat cu tranzistorul JFET—BFW10): atunci cînd tensiunea aplicată comparatorului este mai mică, sau egală cu zero, comutatorul este deschis, blocînd deci intrarea integratorului. Pentru citirea doar a tensiunii integrate corespunzătoare zonei utile, sincron cu deschiderea comutatorului 5 se comandă un circuit *S—H*. Astfel, valoarea citită la ieșirea acestuia este:

$$U_e = \frac{1}{RC}\int_0^{t_A} U_i \, dt,$$

valoare care este proporțională cu cea a fluxului magnetic ce se induce în electromagnet la acționarea acestuia.

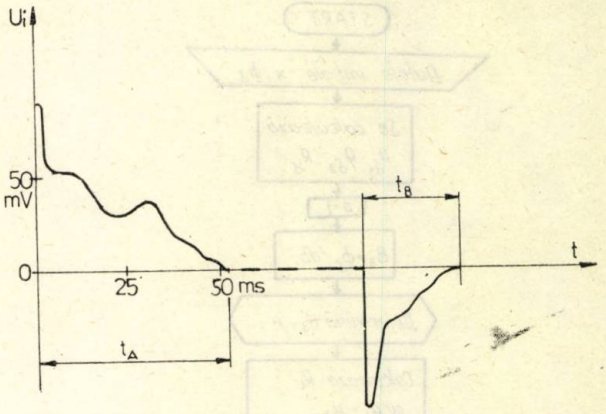


Fig. 8. Tensiunea indusă în bobina sondă la conectarea și deconectarea electromagnetului.

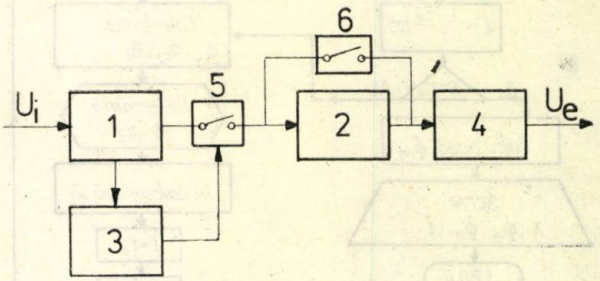


Fig. 9. — Schema-bloc a lanțului de măsurare: *1* — amplificator inversor; *2* — integrator; *3* — comparator de precizie; *4* — circuit *S—H*; *5*, *6* — comutatoare analogice.

Comutatorul *6* servește la stabilirea condițiilor inițiale nule, la fiecare măsurătoare, dacă aceasta se dorește de utilizator.

La realizarea concretă a schemei de măsură prezentată în figura 10, au trebuit să fie luate în considerație o serie de particularități specifice fenomenului studiat și anume:

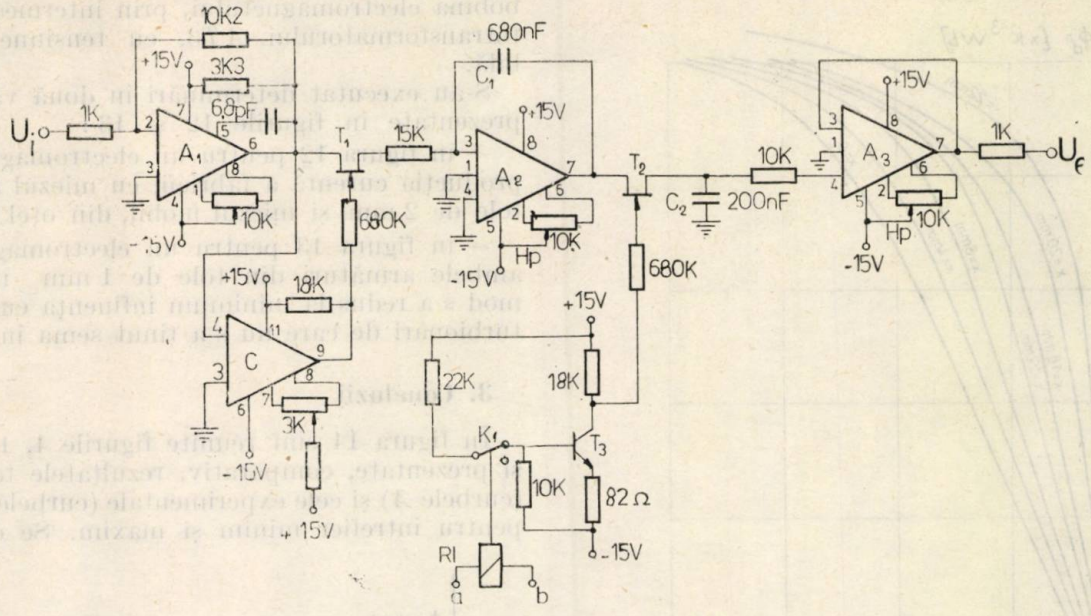


Fig. 10. Schema electrică a lanțului de măsurare.

- frontul de tensiune rapid (< 500 ns) al semnalului atît la conectarea, cît și la deconectarea electromagnetului;
- durata variabilă în timp a fenomenului studiat;
- necesitatea asigurării unui timp de citire de ordinul secundelor;
- mărimea relativ mică a semnalului ce trebuie prelucrat;
- funcționare în medii cu perturbații electrice.

Pentru satisfacerea acestor cerințe circuitele folosite în schemă sînt circuite noi, performante, produse noi ale industriei de componente electronice.

Astfel amplificarea la intrarea semnalului se realizează cu TCA 520 — CI fabricat de IPRS-Băneasa care are viteză mare de creștere ($S_R = 50$ V/μs fără compensare).

Pentru realizarea integratorului și circuitului $S-H$ de precizie și rapid circuitele $A2$ și $A3$ sînt amplificatoare operaționale ($A.0$) cu FET-uri pe intrare, care au curenți mici de polarizare a intrărilor ($IB < 100$ pA) și viteze mari de creștere ($SR = 9$ V/μs), iar condensatorul $C1$ de integrare și $C2$ de memorare sînt cu dielectric din polistiren, care au curenți mici de fugă.

Comparatorul C „de prag zero" este de precizie și cu viteză mare de răspuns (aproximativ 200 ns) — ROB 311 produs de CCSITS.

Comutatoarele analogice din schemă sînt realizate cu tranzistoare J — FET BFW10 produse, de asemenea, la CCSIT — Semiconductoare — București.

Figura 11 reprezintă oscilograma mărimii de intrare (tensiunea indusă în bobina-sondă BS-curba A) și a mărimii de ieșire (tensiunea proporțională cu fluxul curba B). Oscilograma permite atît urmărirea fenomenului tranzitoriu, cît și măsurarea valorii stabilizate a fluxului ce străbate porțiunea de circuit magnetic înlănțuită de bobina-sondă BS. Factorul de transformare este 1 mWb/1V.

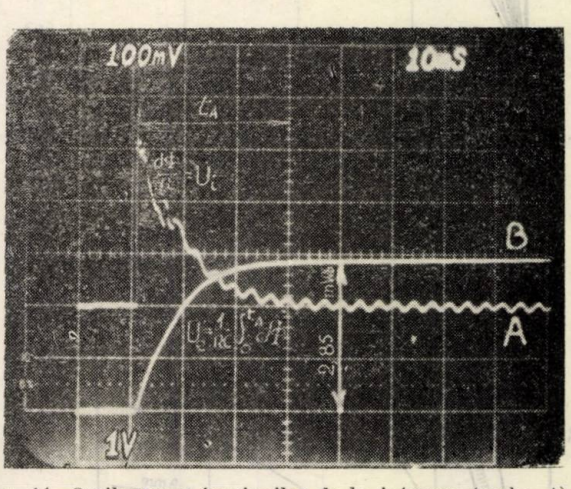


Fig. 11. Oscilograma tensiunilor de la intrarea (curba A) și ieșirea integratorului (curba B).

Cu metoda prezentată s-au efectuat măsurători asupra electromagnetului studiat, cu montajul din figura 7. Bobina-sondă BS s-a montat la mijlocul porțiunii *3* (fig. 2) pentru a măsura cît mai precis fluxul $\frac{1}{2}\Phi_\delta$; o bobină-sondă fixată pe plonjor sau opritor nu înlănțuie decît componenta $\Phi_{\delta 1}$ (fig. 1).

Pentru obținerea curbelor $\Phi_\delta = f_1(i, x)$ s-a procedat în modul următor: la un întrefier fix, realizat cu distanțori izolanți, s-a alimentat

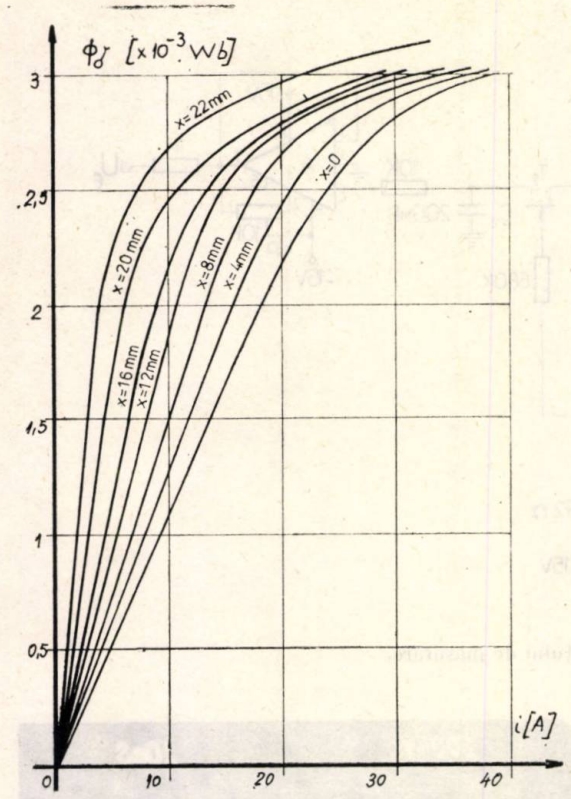


Fig. 12. Variația fluxului în întrefierul unui electromagnet cu armătura mobilă masivă (rezultate experimentale).

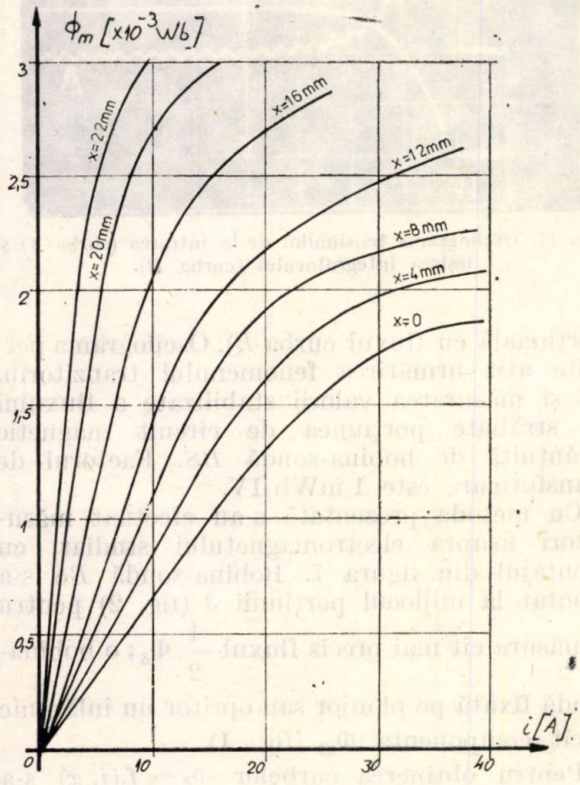


Fig. 13. Variația fluxului în întrefierul unui electromagnet cu armătura mobilă lamelată (rezultate experimentale).

bobina electromagnetului, prin intermediul autotransformatorului $AT3$, cu tensiune variabilă.

S-au executat determinări în două variante, prezentate în figurile 12 și 13 :

— în figura 12 pentru un electromagnet din producția curentă a fabricii, cu miezul fix, din tole de 2 mm, și miezul mobil, din oțel masiv ;

— în figura 13 pentru un electromagnet cu ambele armături din tole de 1 mm în acest mod s-a redus la minimum influența curenților turbionari de care nu s-a ținut sema în calcul.

3. Concluzii

În figura 14 sînt reunite figurile 4, 12 și 13 și prezentate, comparativ, rezultatele teoretice (curbele A) și cele experimentale (curbele B și C) pentru întrefier minim și maxim. Se observă

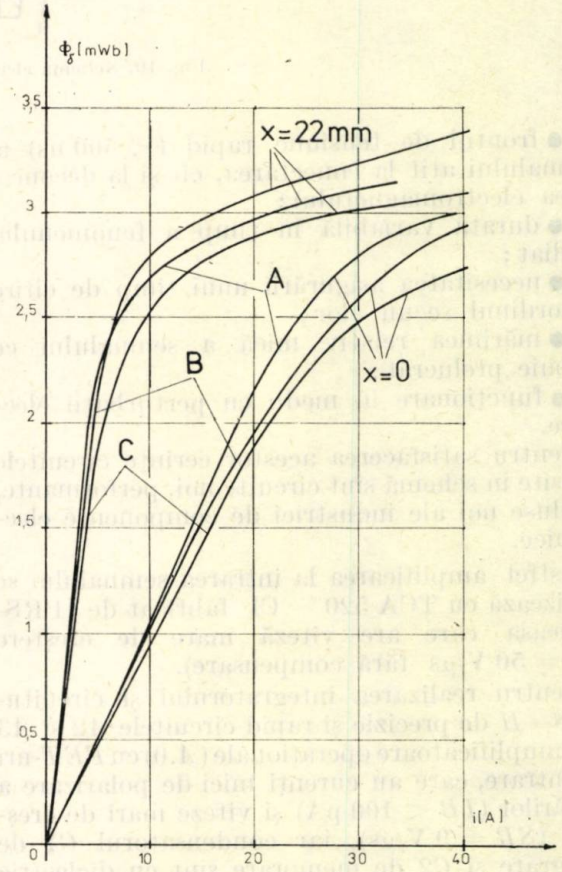


Fig. 14. Comparație între valorile calculate și experimentale ale lui Φ_δ : A — calcul ; B — experiment cu electromagnet cu miez lamelat ; C — experiment cu electromagnet cu miez masiv.

că eroarea maximă este de 10% între curbele A și B și 12% între curbele A și C, pentru $x = 0$. Rezultă de aici că erorile sînt minime la întrefier mic ($x = 22$ mm ; $\delta = 2$ mm), caz în care influența fluxului de scăpări (a cărui variație a fost aproximată în calcul) devine mai puțin

importantă și atunci cînd se face comparația între calcul și rezultatele experimentale obținute cu electromagnetul cu armătură mobilă lamelată. Erorile se datorează, în primul rînd, neluării în considerație a efectului curenților turbionari; de asemenea pot apare abateri sensibile ale proprietăților magnetice ale materialului, utilizat în producția de serie a electromagneților, față de eșantionul de probă pentru care s-a ridicat curba de magnetizare, deși formal au aceeași marcă.

Cu toate acestea, metoda prezentată, bazată pe echivalența tensiunilor magnetice, oferă un mijloc de calcul, nu foarte laborios, dar care conduce la rezultate suficient de exacte. Verificarea și confirmarea prin experiment a ipotezelor făcute inițial justifică utilizarea acestei metode în calculul electromagnetului de curent continuu.

Bibliografie

[1] *Hortopan, Gh., Nițu, S.*, Schemă magnetică echivalentă serie pentru electromagneții de curent continuu În: EEA—Electrotehnica 32, nr. 6/aug. 1984.

[2] *Hortopan, Gh.*, Aparate electrice. Ediția a patra. Ed. didactică și pedagogică — București, 1984.

[3] *Titze, U., Schenk, Gh.*, Halbleiter — Schaltungstechink Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 1980.

[4] *Dan, I., Moseanu, A.* Redresoare cu semiconductoare. Ed. tehnică, București, 1975.

CZ 681.7 : 621.3.042

MAȘINĂ DE C.C.
CIRCUIT MAGNETIC

Metodologie pentru studiul experimental al mașinii de curent continuu

OVIDIU GH. DRĂGĂNESCU* — CRAIOVA

1. Prezentarea metodologiei de cercetare

Mașina de curent continuu păstrează aceeași largă utilizare, datorită atît proprietăților sale, cît și dezvoltării electronicii de putere [1—9].

În scopul stabilirii performanțelor sale, precum și a îmbunătățirii acestora se impune o cercetare experimentală amănunțită.

În cele ce urmează se prezintă o metodologie, respectiv un ansamblu de metode, pentru studiul experimental al mașinii de curent continuu, precum și posibilitățile pe care acestea le oferă [5]. Metodologia prezentată se bazează pe utilizarea unui transformator de curent, de construcție specială, montat pe o cale de curent a înfășurării rotorului [5] și a unor bobine-sondă amplasate astfel încît să permită studiul cîmpului magnetic, pierderile și comutația în diverse regimuri de funcționare [2].

Prin aria extinsă de investigare oferită, metodologia de cercetare permite coroborarea rezultatelor experimentale și, deci, obținerea de concluzii cu aplicabilitate largă.

Spirele-sondă și transformatorul au fost montate pe o mașină de curent continuu A, cu excitație separată, cu înfășurare de compensație și poli auxiliari. Pentru a pune în evidență influența înfășurării de compensație, s-au montat spire-sondă și pe o mașină de curent cpntinuu B, fără înfășurare de compensație. Parametrii mașinilor studiate sînt indicați în figurile 1 și 2, în care se prezintă, de asemenea, amplasarea spirelor-sondă și a transformatorului de curent.

Extremitățile spirelor-sondă de pe rotor au fost împletite, pentru a elimina influența cîmpurilor parazite, și apoi conectate la un ansamblu de inele colectoare montate pe axul mașinilor.

Utilizarea aparatelor cu impedanță de intrare mare (osciloscoape, aparate numerice), în scopul măsurării și înregistrării mărimilor electrice din bobinele-sondă, elimină practic influența contactului perie-inel-colector. De asemenea, ca urmare a consumului redus de energie din circuitul lor de măsurare, nu se modifică calitativ și cantitativ, fenomenul analizat.

2. Posibilități de investigare

În continuare, se prezintă unele mărimi electrice și magnetice ce pot fi puse în evidență în scopul stabilirii performanțelor mașinii, precum și al adoptării unor soluții adecvate pentru faza de proiectare.

Comportarea mărimilor analizate va fi urmărită în diversele regimuri de funcționare ale mașinii de curent continuu, tocmai pentru a permite determinarea modului și sensului în care trebuie să se acționeze pentru creșterea performanțelor mașinii.

* Dr. ing. *Drăgănescu, Gh. O.* — Universitatea — Craiova.

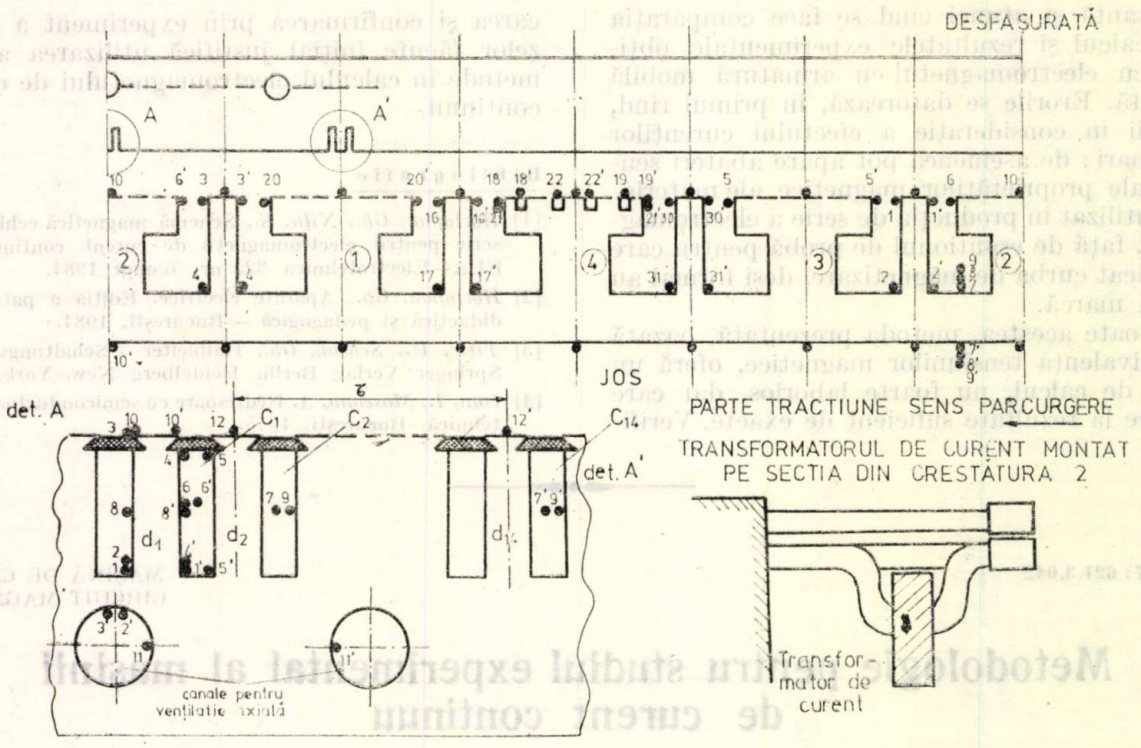


Fig. 1. Mașina de curent continuu „A", secțiunea transversală desfășurată. Motor: $U_N = 440$ V; $I_a = 600$ A; $n_N = 1\,400$ rot/min.

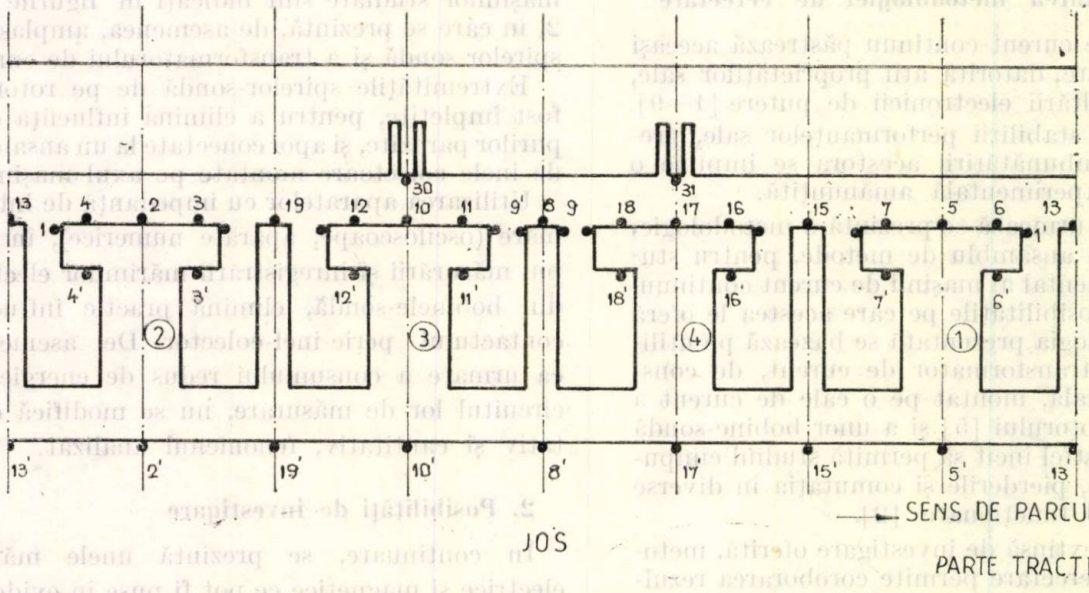


Fig. 2. Mașina de curent continuu „B", secțiune transversală desfășurată. Generator. $U_N = 110$ V; $I_a = 100$ A; $n_N = 1\,500$ rot/min; $a_r = 7{,}5$ mm; $t_1 = 21{,}27$ mm; $l_p = 160$ mm $z_r = 31$; $W_e = 220$ spire; bobinaj rotor-ondulat simplu; $u = 3$; $p = 2$.

2.1. Regimul de funcționare în gol ca generator

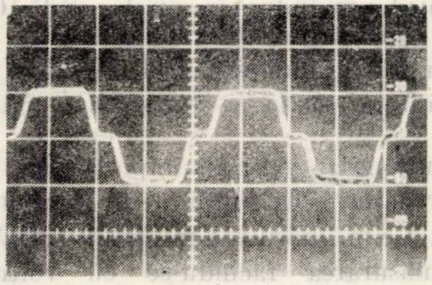
2.1.1. Repartiția spațială a inducției cîmpului magnetic din întrefier

În acest regim, în mașina excitată la tensiunea nominală se stabilește cîmpul magnetic inductor.

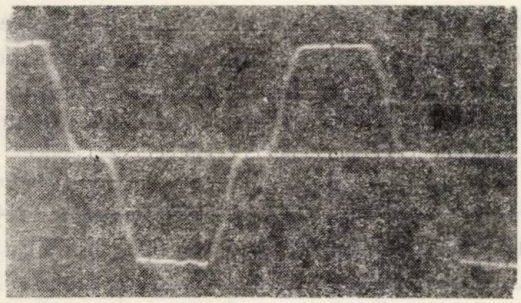
Pe rotor se găsește amplasată, la mașina A, spira 12—12' (fig. 1) iar la mașina B, spira 30—31 (fig. 2). Aceste spire au laturile active dispuse în axa dinților rotorici, înspre întrefier, la pas diametral. Rotindu-se în cîmpul magnetic inductor, se induc în ele t.e.m. a căror variație în timp reproduce cu o precizie ridicată variația în spațiu a inducției cîmpului magnetic

inductor. Aceasta rezultă din legea inducției electromagnetice aplicată pentru un sistem de referință fix în raport cu inductorul [1—3].

Înregistrînd variația t.e.m. (fig. 3), induse în spirele mai sus menționate, se obține repartiția spațială a inducției cîmpului magnetic inductor, pe un pas polar.



a)



b)

Fig. 3. T.e.m. indusă de cîmpul magnetic inductor la funcționarea în gol, ca generator: a — spira 12—12′, mașina A; b — spira 30—31, mașina B.

2.1.2. Determinarea coeficientului de acoperire ideală a pasului polar, α_i

Conform definiției:

$$\alpha_i = B_{med}/B_{\delta 0}, \qquad (1)$$

adică:

$$\alpha_i = \frac{1}{B_{\delta 0}} \int_0^{\sigma} B(x)\,\mathrm{d}x,$$

în care:

B_{med} este valoarea medie a inducției pe un pas polar;

$B_{\delta 0}$ — valoarea inducției, la funcționarea în gol, în axa polului principal [2, 6, 8].

Pentru determinarea coeficientului α_i este necesară cunoașterea mărimilor ce intră în relația (1). Aceasta se poate face în două moduri:

— pe cale grafică;

— pe cale electrică.

Metoda grafică impune determinarea suprafeței mărginită de curba $B = f(x)$ și axa absciselor, pe o semiperioadă, și raportarea acesteia la mărimea semiperioadei. Se obține astfel mărimea B_{med}. De pe curba înregistrată (fig. 3), se determină apoi mărimea $B_{\delta 0}$.

Valoarea lui α_i este influențată de precizia cu care se determină suprafața analizată.

Metoda electrică se caracterizează prin măsurarea inducției medii B_{med}, pe un pas polar, prin intermediul unui voltmetru numeric pentru valoarea medie, și a inducției $B_{\delta 0}$, cu un voltmetru numeric pentru valoare de vîrf. Se remarcă operativitatea și, de asemenea, gradul de precizie ridicat al metodei.

2.1.3. Analiza variației inducției în dinții și jugul rotorului

Pentru a fi pusă în evidență variația fluxului magnetic în volumul dintelui rotoric s-au montat trei spire-inel:

— la vîrful dintelui, 10—10′;

— la mijlocul dintelui, 8—8′;

— la baza dintelui, 1—1′.

Spirele-inel au fost montate la mașina A (fig. 1).

În același scop a fost montată spira 2—2′ care, conform figurii 1, înlănțuie porțiunea din jugul rotorului, cuprinsă între baza crestăturii și canalul axial de ventilație din dreptul său.

Mașina a fost antrenată la turația nominală și excitată, în gol, la tensiunea nominală.

S-au înregistrat t.e.m. induse în spirele menționate mai sus, inclusiv în spira 12—12′ (fig. 4).

Spirele-sondă 10—10′ (curba a, fig. 4) și 1—1′ (curba b, fig. 4) indică existența unei t.e.m. indusă în ele, t.e.m. care apare atunci cînd dintele se deplasează de-a lungul arcului de la ieșirea de sub un pol principal pînă la intrarea sub polul principal consecutiv, în sensul rotației.

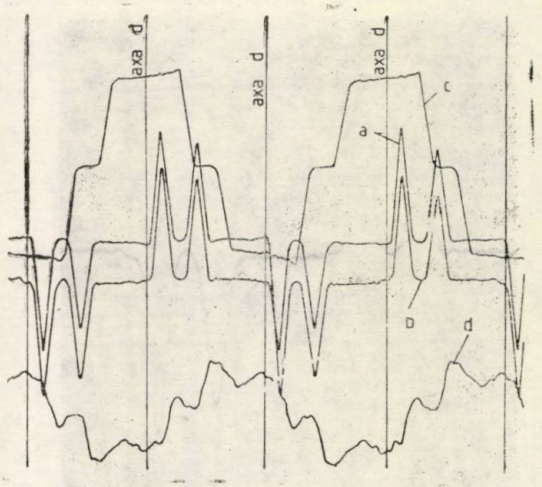
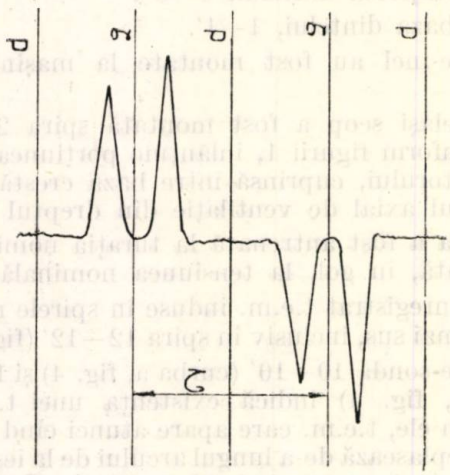


Fig. 4. Oscilograma t.e.m. la funcționarea în gol a mașinii A: a — t.e.m. indusă de variația inducției din spațiul interpolar, spira 10—10′ (vîrful dintelui); b — t.e.m. indusă de variația inducției din spațiul interpolar, spira 1—1′ (baza dintelui); c — t.e.m. indusă de cîmpul inductor, spira 12—12′; d — t.e.m. indusă de fluxul din jugul rotoric, spira 2—2′.

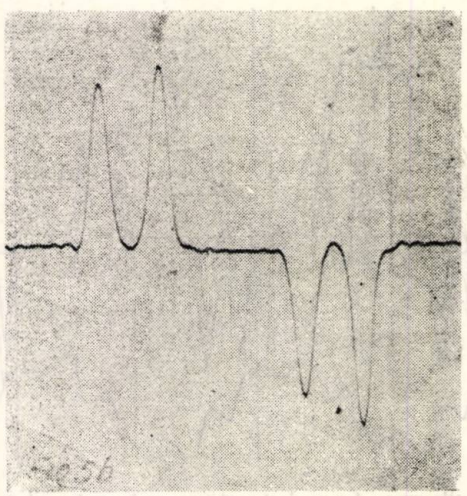
Tensiunea electromotoare indusă în spirele-sondă, în condiţiile menţionate, prezintă două pulsaţii în acelaşi sens. Prima pulsaţie corespunde variaţiei inducţiei cîmpului principal de la valoarea $+B_\delta$, spre exemplu, la ieşirea de sub cornul polar, pînă la valoarea zero, din axa transversală. A doua pulsaţie corespunde variaţiei inducţiei cîmpului principal, de la valoarea zero, din axa transversală, pînă la valoarea $-B_\delta$, din zona cornului de intrare al polului principal consecutiv.

Fenomenul se repetă pentru fiecare dinte la trecerea de-a lungul arcului dintre doi poli principali consecutivi.

La deplasarea dintelui de-a lungul arcului polar, oscilograma indică prezenţa unei t.e.m. de frecvenţă ridicată, dar de amplitudine mică, comparativ cu a celor două pulsaţii. Această componentă a t.e.m. se datorează variaţiei de reluctanţă a porţiunii circuitului magnetic



a)



b)

Fig. 5. a — T.e.m. indusă de variaţia inducţiei din spaţiul interpolar, spira 10—10′ (vîrful dintelui); b — t.e.m. indusă de variaţia inducţiei din spaţiul interpolar, spira 1—1′(baza dintelui).

principal corespunzătoare întrefierului, determinată de prezenţa dinţilor rotorici şi a celor din piesa polară, maşina fiind prevăzută cu înfăşurare de compensaţie.

Se observă, de asemenea, că pentru o perioadă a cîmpului magnetic inductor apar patru pulsaţii ale t.e.m. indusă în spirele-sondă 10—10′ şi 1—1′, deci frecvenţa fundamentalei t.e.m. indusă în aceste spire este dublă, faţă de t.e.m. indusă într-o secţie a înfăşurării indusului (fig. 5).

Se menţionează valoarea importantă a t.e.m. a acestor pulsaţii. Orientativ, sînt prezentate în tabelul 1 t.e.m. măsurate în spirele-sondă analizate, măsurarea făcîndu-se cu voltmetrul numeric.

Amplitudinea mare a t.e.m. induse în spirele-sondă montate pe dinte indică o variaţie importantă a inducţiei din dinte, ceea ce conduce la apariţia de pierderi în fier (oţel), în volumul

Tabelul 1

SPIRA-SONDĂ	Nr.	12—12′	10—10′	1—1′	2—2′
TENSIUNEA MĂSURATĂ	V	14,12	1,47	1,72	4,74

$U_{0N} = 440$ V

dintelui, prin curenţi turbionari şi histereză, precum şi pierderi de suprafaţă, la suprafaţa dintelui [2].

Avînd în vedere amplitudinea mare a inducţiei acestor pulsaţii, pierderile în fier, generate în dintele rotorului sînt importante. Pe lîngă influenţa lor negativă asupra randamentului, aceste pierderi prin creşterea încălzirii dinţilor, contribuie la reducerea căldurii evacuate din înfăşurarea indusului cu consecinţele evidente şi asupra puterii maşinii.

Analizînd t.e.m. indusă în spira-sondă 2—2′, a cărei variaţie în timp este identică cu cea a fluxului principal, care trece prin porţiunea de jug dintre baza crestăturii şi canalul axial de ventilaţie, se regăseşte pulsaţia de frecvenţă dublă (curba d, fig. 4), evidenţiată cu ajutorul spirelor 10—10′ şi 1—1′ în dinte.

Aceasta indică o creştere a pierderilor în oţel, datorate pulsaţiei identificate, şi în jugul rotoric, confirmînd astfel existenţa fenomenului pus în evidenţă.

Analitic, şi experimental cu analizor de armonici, poate fi determinată amplitudinea fundamentalei şi a armonicilor t.e.m. de pulsaţie din spirele-sondă, datorită variaţiei inducţiei cîmpului principal în spaţiul interpolar.

2.2. Regimul de funcționare cu rotorul în mișcare de rotație, cu circuitul indusului alimentat de la o sursă exterioară și cu înfășurarea statorului deschisă

Regimul se caracterizează prin aceea că, înfășurarea de excitație nefiind parcursă de curent, în mașină nu este cîmp magnetic inductor.

Ca urmare, poate fi pusă în evidență repartiția spațială a inducției cîmpului rezultant din întrefier, determinat de solenția de reacție de cea a polilor auxiliari și de solenația înfășurării de compensație, dacă există.

De asemenea, poate fi studiată repartiția spațială a inducției corespunzătoare fiecăreia din aceste solenații.

2.2.1. Repartiția spațială a inducției corespunzătoare cîmpului magnetic rezultant din întrefier

Analiza se efectuează comparativ pe mașina *A*, cu înfășurare de compensație, și pe mașina *B*, fără înfășurare de compensație.

2.2.1.1. Mașina A, cu înfășurare de compensație

În figura 6, curba *1* reprezintă variația în timp a curentului dintr-o cale de curent, în acest regim.

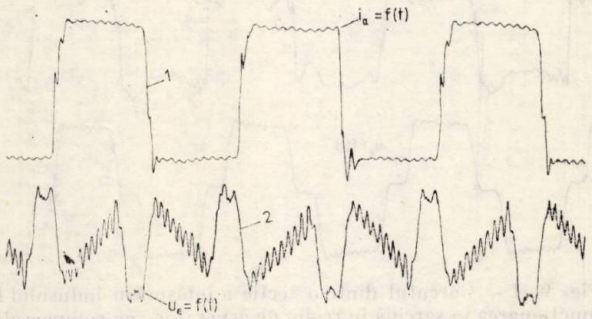


Fig. 6. 1 — Curentul dintr-o secție a înfășurării indusului-mașina *A*; 2 — t.e.m. indusă de inducția cîmpului magnetic rezultant din întrefier, spira 12—12′.

Punerea în evidență a curentului, pe calea de curent a înfășurării indusului, permite studierea fenomenului de comutație. Cunoscînd variația în timp a curentului în secția ce comută, se poate analiza caracterul comutației atît în regim staționar, cît și în regim tranzitoriu. Observațiile rezultate permit să se acționeze asupra solenației polilor auxiliari pentru determinarea valorii sale optime, cît și asupra pozițiilor periilor.

Curba 2, figura 6, reprezintă variația în timp a t.e.m. indusă în spira sondă 12—12′, care, la altă scară, reprezintă cu o precizie ridicată variația în spațiu a inducției cîmpului magnetic rezultant din întrefier.

Se observă variația liniară a inducției sub poli, rezultată din interacțiunea solenației de reacție și de compensație și de variația întrefierului. Sensul de variație al acesteia indică solenația preponderentă.

Curba astfel obținută permite și determinarea analitică a valorii solenației de compensație pentru ca reacția indusului să fie complet anihilată.

De asemenea, direct pe stand, introducînd suplimentar un curent în înfășurarea de compensație, cu sensul și pînă la valoarea la care pe osciloscop t.e.m. indusă în spirele-sondă este practic nulă, se poate determina cantitativ valoarea și sensul solenației de compensație necesară anihilării reacției indusului.

Pe această porțiune a curbei este suprapusă o undă de frecvență superioară, datorită modulării în amplitudine a inducției rezultante, ca urmare a prezenței crestăturilor rotorului și polilor principali.

În spațiul interpolar este evidențiată repartiția spațială a inducției, determinată de interacțiunea dintre solenația polilor auxiliari și solenația de reacție a indusului din această zonă, precum și de variația reluctanței magnetice pe această porțiune.

Sensul și valoarea t.e.m. indusă în spira sondă 12—12′, în această zonă, permit să se acționeze asupra valorii și sensului solenației polilor auxiliari în scopul realizării unei comutații optime

2.2.1.2. Mașina B, fără înfășurare de compensație

La această mașină, prin t.e.m. indusă în spira sondă 30—31, s-a evidențiat (fig. 7) repartiția spațială a inducției la periferia rotorului, determinată de rezultanta dintre solenația de reacție și cea a polilor auxiliari, precum și de variația reluctanței magnetice de-a lungul pasului polar.

Fig. 7. T.e.m. indusă de cîmpul magnetic rezultant din întrefier la mașina *B*, cu înfășurarea polilor auxiliari parcursă de curent, curba $u_e = f(t)$ (spira 30—31).

Pe porțiunea corespunzătoare piesei polare, forma t.e.m. indusă în spira sondă 30—31 indică o variație practic liniară a inducției cîmpului de reacție a indusului.

Pe această porțiune a curbei se remarcă prezența undei suprapuse, de frecvență superioară, datorită crestăturilor rotorului.

În spațiul interpolar se evidențiază repartiția spațială a inducției, determinată de solenația rezultantă dintre cea a reacției indusului și cea a polilor auxiliari. Întrucît în curba t.e.m indusă în spira 30—31 nu apar t.e.m. de frecvență ridicată, specifice comutației întîrziate, cum indică oscilograma din figura 8, rezultă că solenația polilor auxiliari este mai mare decît solenația cîmpului de reacție, în axa transversală. De asemenea, sensul de variație a t.e.m. indusă în sonda 30—31, cînd parcurge această zonă, este opus t.e.m. induse cînd lipsește cîmpul polilor auxiliari (fig. 8).

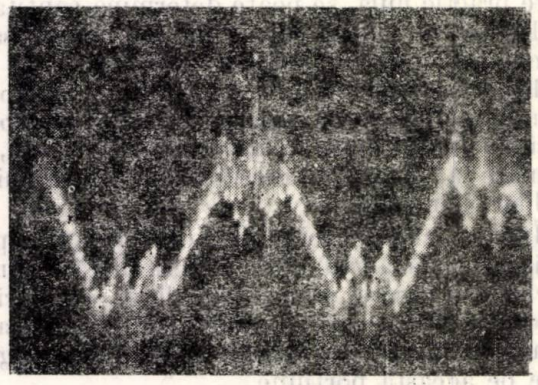


Fig. 8. T.e.m. indusă de cîmpul magnetic rezultant din întrefier la mașina *B*, cu înfășurarea polilor auxiliari neparcursă de curent, curba $u_e = f(t)$ (spira 30—31).

2.2.2. Repartiția spațială a inducției corespunzătoare cîmpului de reacție

Cercetarea experimentală a fost efectuată pe mașina *B*.

În acest regim, înfășurarea polilor auxiliari nu a fost alimentată, fiind parcursă de curent numai înfășurarea indusului. Ca urmare, în mașină se stabilește numai cîmpul de reacție al indusului. Repartiția spațială a inducției în întrefier, la periferia rotorului, este determinată de repartiția spațială a solenației cîmpului de reacție și de variația reluctanței.

În axa transversală, prezența părții feromagnetice corespunzătoare polilor auxiliari conduce la creșterea permeanței magnetice a circuitului, fapt evidențiat de creșterea inducției magnetice în această zonă (fig. 8).

2.3. Regimul de funcționare în sarcină ca generator

Se studiază regimul de funcționare în sarcină ca generator, pe mașina *A* și pe mașina *B*, analizîndu-se comportarea lor în funcție de înfășurările din circuitul indusului. Rezultatele obținute scot în evidență diferențele determinate de prezența înfășurării de compensație.

Se analizează, de asemenea, variația, în acest regim, la mașina *A* a inducției din dinții și jugul rotorului.

2.3.1. Repartiția spațială a inducției corespunzătoare cîmpului magnetic rezultant din întrefier

2.3.1.1. Mașina A, cu înfășurarea de compensație parcursă de curent

În figura 9, curba *1* reprezintă variația în timp a curentului dintr-o cale de curent. Analiza curbei *1* permite evidențierea caracterului comutației, a influenței valorii solenației polilor auxiliari asupra acesteia și, de asemenea, influența repartiției spațiale a inducției magnetice rezultante sub fiecare pol asupra formei curbei curentului.

Curba *2*, (sonda 12—12′), figura 9, respectiv $u_e = f(t)$, care la altă scară, cu o precizie ridicată, constituie variația în spațiu a inducției cîmpului rezultant din întrefier, prezintă practic aceeași formă ca la regimul de funcționare în gol.

Se evidențiază astfel efectul înfășurării de compensație.

Măsurînd t.e.m. indusă în spira-sondă 12—12′, la funcționarea în gol, corespunzătoare tensiunii nominale și turației nominale, și în sarcină, la curent nominal, tensiune nominală și turație nominală, se poate determina cantitativ solenația de compensație necesară anihilării reacției indusului.

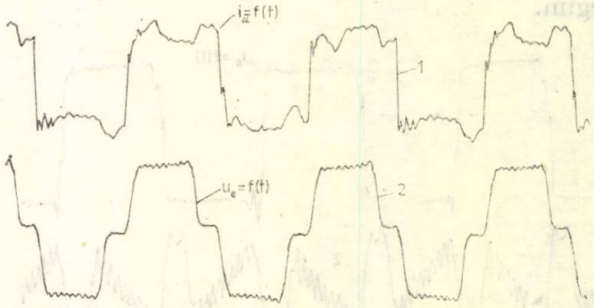


Fig. 9. 1 — Curentul dintr-o secție a înfășurării indusului la funcționarea în sarcină în regim de generator, cu compensație — mașina *A*; 2 — t.e.m. indusă de cîmpul magnetic rezultant din întrefier, compensat, spira 12—12′-mașina *A*.

Comparînd valoarea solenației de compensație, astfel determinată, cu valoarea determinată la regimul de funcționare de la pct. 2.2.1.1. poate fi pusă în evidență influența saturației circuitului magnetic principal asupra inducției cîmpului de compensație.

Pentru a se urmări influența sarcinii asupra pulsațiilor inducției, identificate la funcționarea în gol, în dinții și jugul rotorului, s-au oscilografiat t.e.m. induse în spirele-sondă 10—10′, (fig. 10) și 2—2′ (fig. 11).

Tensiunile electromotoare analizate prezintă practic aceeași alură, evidențiind, și în acest regim, existența fenomenului prezentat la pct. 2.1.3.

De asemenea, valorile t.e.m. măsurate la bornele spirelor-sondă în sarcină, la $0{,}5I_N$ și U_N, sînt practic identice cu cele din tabelul 1. Această concordanță confirmă cauza pulsațiilor, și anume variația inducției cîmpului magnetic

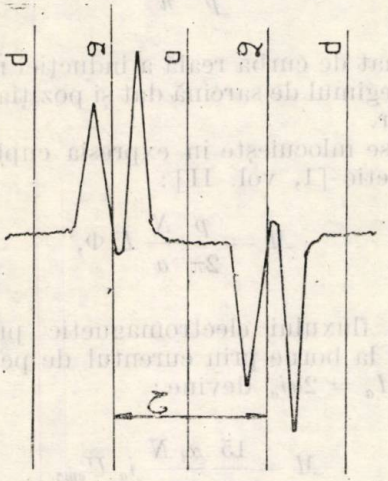


Fig. 10. T.e.m. indusă, în sarcină, de variația inducției din spațiul interpolar, spira 10—10′ (vîrful dintelui).

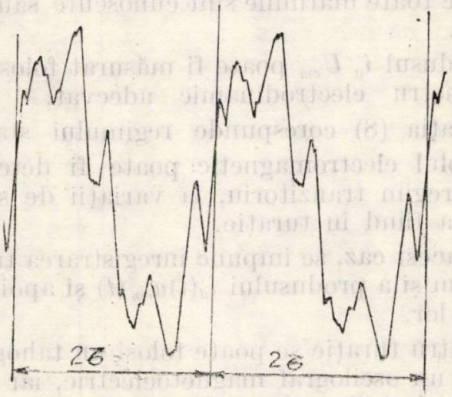


Fig. 11. T.e.m. indusă, în sarcină, de fluxul din jugul rotoric spira 2—2′.

principal de la $+B$ la $-B$, în raport cu dintele, cînd acesta străbate arcul interpolar, valori ale inducției care practic nu se modifică de la gol la sarcină întrucît mașina este compensată.

Din analiza cauzelor acestui fenomen, care are efecte negative, rezultă că pentru diminuarea sa este necesară o repartiție spațială mai apropiată de sinusoidă pentru inducția cîmpului inductor. Acest deziderat se realizează acționînd corespunzător asupra formei piesei polare a polului principal.

2.3.1.2. Mașina A, cu înfășurarea de compensație neparcursă de curent

În figura 12, curba *1*, care reprezintă variația în timp a curentului dintr-o cale de curent, evidențiază caracterul comutației și influența lipsei solenației de compensație, precum și influența repartiției spațiale a inducției din întrefier asupra curbei curentului.

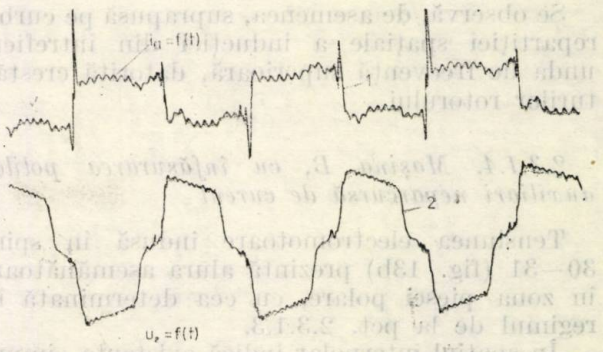
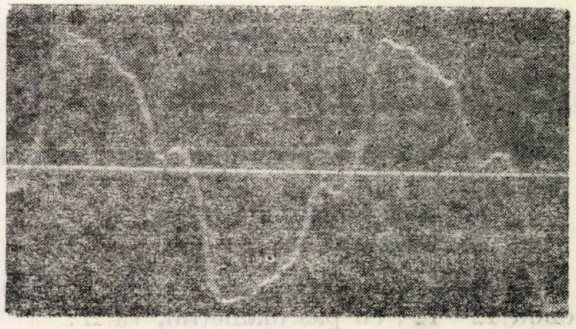


Fig. 12. 1 — Curentul dintr-o secție a înfășurării indusului, la funcționarea în sacrină în regim de generator, fără solenație de compensație — mașina *A* : 2 — t.e.m. indusă de cîmpul magnetic rezultant din întrefier, necompensat — mașina *A*.

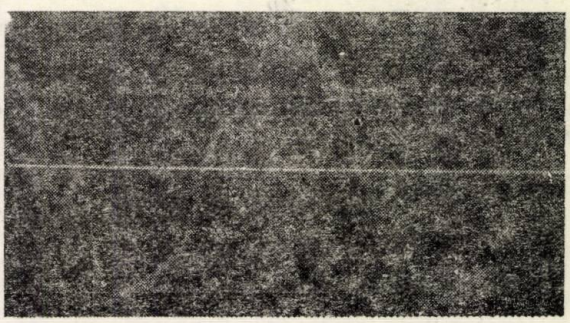
Curba *2*, figura 12, ce corespunde variației spațiale a inducției rezultante pe pasul polar, pune în evidență efectele reacției indusului, necompensată în acest regim.

2.3.1.3. Mașina B, cu înfășurarea polilor auxiliari parcursă de curent

În figura 13a este prezentată t.e.m. indusă în spira-sondă 30—31. Alura curbei pune în evidență efectul reacției indusului. În zona axelor transversale arată că solenația polilor auxiliari este mai mare decît cea a reacției indusului.



a)



b)

Fig. 13. a — T.e.m. indusă de cîmpul magnetic rezultant din întrefier, în sarcină, înfășurarea polilor auxiliari fiind parcursă de curent, spira 30—31, mașina *B*. b — t.e.m. indusă de cîmpul magnetic rezultant din întrefier, în sarcină, înfășurarea poilor auxiliari nefiind parcursă de curent, spira 30—31 mașina *B*.

Se observă, de asemenea, suprapusă pe curba repartiției spațiale a inducției din întrefier, unda de frecvență superioară, datorită crestăturilor rotorului.

2.3.1.4. Mașina B, cu înfășurarea polilor auxiliari neparcursă de curent

Tensiunea electromotoare indusă în spira 30—31 (fig. 13b) prezintă alura asemănătoare în zona piesei polare, cu cea determinată în regimul de la pct. 2.3.1.3.

În spațiul interpolar indică existența cîmpului de reacție. Lipsa cîmpului polilor auxiliari conduce la înrăutățirea comutației, aspect evidențiat prin prezența unor unde de frecvență ridicată, suprapuse pe curba t.e.m., corespunzătoare repartiției inducției rezultante din întrefier.

2.3.2. Determinarea cuplului electromagnetic în regim staționar și tranzitoriu

Echiparea mașinii *A* cu spira sondă 12—12′ și transformator de curent, care să permită măsurarea curentului pe o cale de curent, oferă posibilitatea determinării cuplului electromagnetic dezvoltat de mașină, atît în regim staționar, cît și în regim tranzitoriu.

Conform celor cunoscute, t.e.m. indusă în latura 12, spre exemplu, este:

$$U_{ec} = vB_{\delta 0} l_i = \frac{2p}{60} n \tau l_i B_{\delta 0}, \qquad (2)$$

în care:

p este numărul de perechi de poli ai mașinii;
τ — pasul polar, m;
l_i — lungimea ideală, m;
n — viteza de rotație, rot/min.

Tensiunea electromotoare indusă în spira sondă 12—12′, cu pas diametral, va fi:

$$U_{em} = 2 \frac{2p}{60} n \tau l_i B_{\delta 0}. \qquad (3)$$

Tensiunea electromotoare pe calea de curent este:

$$U_{ca} = \frac{N}{a} \alpha_i \frac{p}{60} n \tau l_i B_{\delta 0}. \qquad (4)$$

Ținînd seama de (3) se obține:

$$U_{ca} = \frac{N}{a} \alpha_i \frac{U_{em}}{4}, \qquad (5)$$

dar:

$$U_{ca} = \frac{N}{60} \frac{p}{a} n \Phi. \qquad (6)$$

Egalînd (5) și (6) se obține expresia fluxului magnetic pe pas polar:

$$\Phi = \frac{15}{p} \frac{\alpha_i}{n} U_{em}, \qquad (7)$$

determinat de curba reală a inducției magnetice pentru regimul de sarcină dat și poziția stabilită a periilor.

Dacă se înlocuiește în expresia cuplului electromagnetic [1, vol. II]:

$$M = \frac{p}{2\pi} \frac{N}{a} I_a \Phi,$$

valoarea fluxului electromagnetic prin (7) și curentul la borne prin curentul de pe calea de curent, $I_a = 2ai_a$ devine:

$$M = \frac{15}{\pi} \frac{\alpha_i N}{n} i_a U_{em}, \qquad (8)$$

în care toate mărimile sînt cunoscute sau măsurabile.

Produsul $i_a U_{em}$ poate fi măsurat folosind un wattmetru electrodinamic adecvat.

Relația (8) corespunde regimului staționar.

Cuplul electromagnetic poate fi determinat și în regim tranzitoriu, la variații de sarcină, mașina fiind în turație.

În acest caz, se impune înregistrarea turației, precum și a produsului $i_a(t)u_{em}(t)$ și apoi raportarea lor.

Pentru turație se poate folosi un tahogenerator și un oscilograf magnetoelectric, iar pentru produsul $i_a(t)u_{em}(t)$ bucla de putere a unui oscilograf magnetoelectric.

De asemenea, se poate realiza un dispozitiv electronic care să efectueze raportul $u_{em}(t)/n(t) = k\varphi(t)$ și apoi produsul $k\varphi(t)i_a(t)$ obținîndu-se:

$$m(t) = k' \frac{u_{em}(t)}{n(t)} i_a(t). \qquad (9)$$

De menționat este faptul că o mașină de curent continuu, echipată conform celor prezentate mai sus poate fi utilizată ca ansamblu de măsurare pentru determinarea cuplului, în regim staționar și tranzitoriu, la alte tipuri de mașini electrice rotative.

Dacă spira-sondă are pasul scurtat, în scopul asigurării dispunerii sale în axele a doi dinți și pentru a ține seama de decalajul dintre latura spirei-sondă și latura secției pe care se găsește transformatorul de curent, se introduc factorii de scurtare și repartizare, k_s și respectiv k_r, în relația (8).

În scopul creşterii preciziei determinării cuplului electromagnetic, în regim tranzitoriu, prin această metodă, maşina prevăzută în acest scop se realizează cu înfăşurare buclată simplă, avînd, pe fiecare cale de curent, montat cîte un transformator de curent, iar pe rotor, înspre intrefier, un număr egal de spire-sondă.

Înseriind în mod corespunzător t.e.m. obţinute la înfăşurările secundare ale transformatoarelor de curent, precum şi cele obţinute la bornele bobinelor-sondă se poate ţine seama mai exact de starea electromagnetică a maşinii în timpul procesului tranzitoriu.

3. Concluzii

1. Metodologia prezentată este eficientă permiţînd efectuarea unei cercetări experimentale amănunţite a maşinii de curent continuu, în condiţii de economicitate ridicată.

2. Echiparea maşinii de curent continuu cu spirele-sondă, conform metodologiei propuse, poate fi aplicată comod şi operativ la prototipuri.

3. Maşinile de curent continuu cu stator oscilant, destinate măsurării cuplului, pot fi realizate cu înfăşurare buclată simplă avînd montate $2p$ transformatoare de curent pe înfăşurarea rotorului şi $2p$ bobine-sondă în întrefier. Maşina astfel echipată permite determinarea cuplului electromagnetic, în turaţie, în regim staţionar şi tranzitoriu.

4. Dispunerea bobinelor-sondă, conform figurii, 1 permite, de asemenea, studiul cîmpului magnetic în crestătură, în regim staţionar şi tranzitoriu, precum şi în porţiunea statorică a circuitului magnetic, în regim tranzitoriu.

Maşinile echipate conform figurilor 1 şi 2 se găsesc în dotarea standului pentru studiul experimental al maşinilor electrice rotative de la Facultatea de electrotehnică a Universităţii din Craiova.

Bibliografie

[1] *Ncolaide, A.* Maşini electrice. Teorie. Proiectare, vol. I, II, Craiova, Editura „Scrisul Românesc", 1975.

[2] *Richter, Rudolf.* Maşini electrice, vol. I, Bucureşti, Editura tehnică, 1958.

[3] *Nicolaide, A.* Bazele fizice ale electrotehnicii, vol. I, Craiova, Editura „Scrisul Românesc", 1983.

[4] *Drăgănescu, O.* Maşini electrice. Curs pentru subingineri, învăţămînt seral, vol. I, Craiova, Reprografia Universităţii, 1980.

[5] *Drăgănescu, O.* Aspecte privind studiul experimental al maşinii de curent continuu. Comunicare, vol. III. Generatoare electrice. Conferinţa naţională de electrotehnică şi electroenergetică, Craiova, septembrie 1984.

[6] *Gheorghiu, I. S.* Tratat de maşini electrice, vol. I, Bucureşti, Editura Academiei R.S.R., 1972.

[7] *Dordea, T.* Maşini electrice, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1977.

[8] *Bălă, C.* Maşini electrice, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1980.

[9] *Cîmpeanu, A.* Maşini electrice, Craiova, Editura „Scrisul Românesc", 1978.

CZ 621.3.012.8 : 535.89

CIRCUITE REZISTIVE NELINIARE
LIMITE DE VARIAŢIE

Stabilirea unui domeniu limitat de variaţie pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare rezistive

FĂNICĂ SPINEI ŞI GELU IONESCU * — BUCUREŞTI

Introducere

Analiza circuitelor electrice neliniare este o problemă actuală, abordată într-un mare număr de lucrări, care aduc contribuţii importante în acest domeniu. O parte a literaturii din acest domeniu se ocupă de îmbunătăţirea metodelor de calcul existente, creşterea eficienţei şi preciziei acestora şi, nu în ultimul rînd, de scăderea volumului de calcule.

Complexitatea crescîndă a circuitelor electrice neliniare şi apariţia unor noi tipuri de elemente neliniare cu caractristici din ce în ce mai complicate justifică reluarea unor procedee de calcul bazate pe liniarizarea caracteristicilor, înţelegînd prin aceasta metodele de analiză combinatorială şi metodele de analiză diakoptică.

În prezenta lucrare se justifică existenţa unui domeniu de variaţie limitat pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare, prezentîndu-se şi un algoritm de calcul bazat pe metoda variaţiei parametrului. Această proprietate manifestată, în general, la toate circuitele cu elemente neliniare reale (care sînt eventual pasive) poate fi utilizată cu succes la :

— iniţializarea metodelor iterative de calcul, cu valori de start apropiate, în mod cert, de zona de existenţă a soluţiilor ;

* Conf. dr. ing. *Spinei, F.*, şi ing. *Ionescu, G.* — Catedra de electrotehnică II din Institutul politehnic — Bucureşti.

— micșorarea numărului de combinații analizate în cazul metodei combinatoriale pentru circuite liniarizate pe porțiuni, prin eliminarea din start a domeniilor interzise (în care nu pot exista soluții);

— în cazul sintezei circuitelor cu elemente neliniare cu puncte de funcționare impuse, se poate verifica compatibilitatea părții liniare de circuit cu valorile impuse elementelor neliniare;

— alegerea unei aproximații inițiale suficient de precisă, pentru metodele de analiză grosieră, sau cu precizie crescătoare a circuitelor electrice neliniare, precum și în alte tipuri de probleme. Această informație privind comportarea circuitului are ca efect general, în toate cazurile enumerate mai sus, micșorarea volumului de calcule.

Aplicațiile prezentate pun în evidență modul de determinare a limitelor de variație a mărimilor de comandă a elementelor neliniare, precum și utilizarea acestora pentru finalizarea analizei circuitelor neliniare ce constituie obiectul exemplelor respective.

1. Determinarea unui domeniu de variație limitat pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare

Ideea de la care s-a pornit este aceea că structura părții liniare de circuit și cunoașterea unor limite de variație pentru parametrii elementelor neliniare de circuit trebuie să se reflecte, în mod direct, asupra limitelor de variație ale mărimilor electrice din întregul circuit; același lucru este valabil și pentru funcțiile de transfer.

Pentru a concretiza și finaliza această supoziție se începe cu prezentarea lemei 1.

Lema 1. Fie o funcție $y : R^n \to R$, continuă. Dacă funcția y îndeplinește condițiile:

$$\operatorname{sign}\left[\frac{\partial y}{\partial x_k}\right] = \text{const, pentru} \tag{1}$$

$$x_k \in [a_k, b_k] \quad \text{și} \quad x_j = \text{const},$$

cu $k = 1, 2, 3, \ldots, n$, și $j \neq k$,

atunci aceasta își atinge valorile extreme pentru compactul $x_k \in [a_k, b_k]$, cu $k = 1, 2, 3, \ldots, n$, numai pe frontieră.

Afirmația este evidentă deoarece nicăieri în interiorul hiperpoliedrului, definit de $x_k \in [a_k, b_k]$, nu poate fi satisfăcută condiția de extrem.

Printre funcțiile care satisfac o astfel de condiție sînt și cele de forma:

$$F(x) = \frac{b + ax}{1 + cx}, \tag{2}$$

sau, în general, orice funcție de forma:

$$F_1(x) = \frac{b_1 + a_1 x}{d_1 + c_1 x}, \tag{3}$$

deoarece, făcînd notațiile:

$$b = \frac{b_1}{d_1}, \quad a = \frac{a_1}{d_1}, \quad c = \frac{c_1}{d_1}, \tag{4}$$

se obține relația anterioară (2).

Derivata funcției (2) este:

$$F'(x) = \frac{a - cb}{(1 + cx)^2}, \tag{5}$$

păstrîndu-și semnul pe orice interval $x \in [x_m, x_M]$. De observat că pentru satisfacerea condiției de continuitate $x_0 = -\frac{1}{c} \notin [x_m, x_M]$.

În consecință, datorită monotoniei, panta tangentei la curba $F(x)$ variază între o valoare minimă și o valoare maximă (ambele pozitive, sau ambele negative), extremele fiind, evident, la capetele intervalului (fig. 1 a, b, c, d).

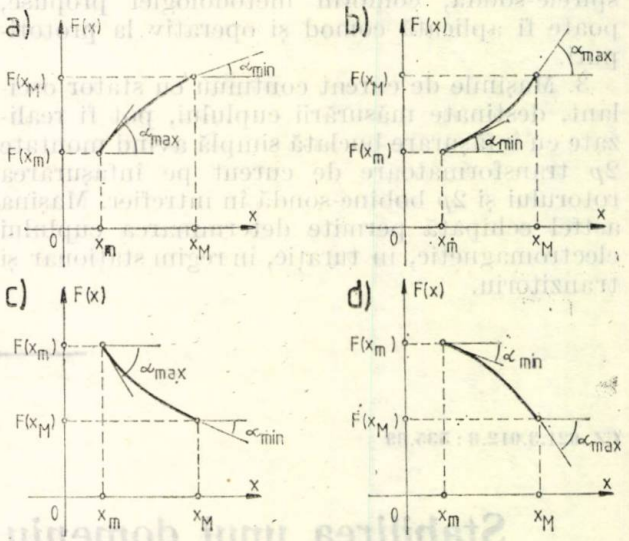


Fig. 1. Exemple de curbe cu variații monotone.

Toate mărimile electrice, ca și funcțiile de transfer dintr-un circuit electric, au o variație de forma (2), în raport cu un parametru modificabil x din circuit 1. De pildă, curentul din latura j a unui circuit se poate scrie în funcție de valoarea rezistenței din latura k a circuitului sub forma:

$$I_j = \frac{I_{jsc} + G_{kksc} R_k I_{jo}}{1 + G_{kksc} R_k}, \tag{6}$$

unde R_k este valoarea rezistenței din latura k;

I_j — curentul din latura j; indicii „sc" și „o" se referă la regimurile cu $R_k = 0$ (scurtcircuit) și, respectiv, $R_k = \infty$ (mers în gol);

G_{kk} — conductanța proprie de transfer a laturii k', mărime pozitivă prin definiție (valabilă în general pentru circuitele reale).

Și pentru tensiunile laturilor există o relație similară cu relația (7), de aceea afirmațiile valabile pentru curent se aplică și tensiunilor.

Dacă $R_k \in [0, \infty)$, $k = 1, 2, 3, \ldots, p$ (p fiind numărul de laturi modificabile ale circuitului), se poate conclude, în baza lemei 1 :

Lema 2. Într-un circuit cu p laturi având rezistențe modificabile, $R_k \in [0, \infty)$, $k = 1, 2, 3, \ldots, p$, valorile extreme ale curentului din orice latură a circuitului se vor găsi pentru o combinație de regimuri de gol sau scurtcircuit ale laturilor modificabile.

De altfel această afirmație a mai fost făcută și anterior [2], fără o justificare riguroasă.

Cele expuse mai sus sînt extrem de utile pentru circuitele electrice rezistive neliniare. Dacă se consideră caracteristica fiecărui element neliniar, trecînd prin origine și luînd valori numai în cadranele 1 și 3, atunci poate fi precizat un interval *pozitiv* de variație pentru parametrii statici :

$$R_s \in [R_{sm}, R_{sM}], \text{ sau : } G_s \in [G_{sm}, G_{sM}]. \qquad (7)$$

Pentru elementele întîlnite în practică, ca și pentru elementele neliniare, eventual pasive (pentru valori suficient de mari ale mărimii de comandă), poziționarea caracteristicii în cadranele 1 și 3 se poate face destul de simplu, cu cel mult două surse independente (una de curent și cealaltă de tensiune), conectate ca în figura 2 a, b. Este evident că cele două conexiuni, din figurile 2 a și din 2 b, sînt echivalente.

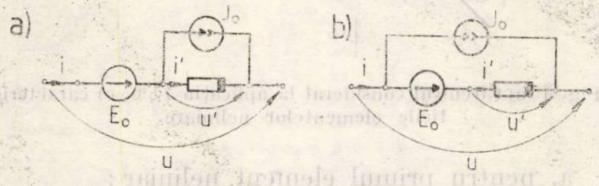


Fig. 2. Utilizarea a două surse independente, una de curent și alta de tensiune, pentru translatarea caracteristicilor elementelor neliniare în cadranele 1 și 3.

Se poate afirma că : „orice mărime electrică din circuit își atinge valorile extreme pentru o combinație de valori limită ale parametrilor statici, corespunzători elementelor neliniare". Afirmația este, evident, valabilă și pentru mărimile electrice corespunzînd elementelor neliniare.

Deci, pentru un circuit în care elementele neliniare satisfac condiția (7) *se pot stabili limitele de variație pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare.*

Stabilirea unui domeniu limitat de variație pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare este utilă din mai multe puncte de vedere :

1. În cazul analizei circuitelor rezistive neliniare prin metode iterative se poate alege regimul inițial — de stări — în mod cert mai apropiat de soluție (soluții), prin selectarea unui set de valori inițiale în intervalele posibile de variație pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare (de pildă la mijlocul acestor intervale).

2. În cazul analizei combinatoriale a circuitelor liniarizate pe porțiuni, dacă elementele neliniare sînt în număr de m, elementul k având caracteristica compusă din p_k porțiuni liniare, este necesară rezolvarea unui număr de $N_0 = \prod_{k=1}^{m} p$ circuite liniare.

Stabilirea limitelor de variație pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare implică analiza a $N' = 2^m$ circuite liniare. Limitele de variație determinate vor reduce numărul de porțiuni liniare care trebuie luate în considerație pentru fiecare element. Fie acest număr $p'_k < p_k$. Deci, pe această cale, numărul total de circuite liniare care trebuie analizate devine $N_1 = \prod_{k=1}^{m} p'_k + 2^m$.

Dacă $N_1 < N_0$, ceea ce se întîmplă în mod evident, în special în cazurile cînd valorile p_k sînt relativ mari, volumul de calcule implicat de analiza combinatorială se poate micșora considerabil.

3. În cazul sintezei circuitelor cu elemente neliniare cu puncte de funcționare impuse, se poate verifica compatibilitatea părții liniare de circuit cu valorile impuse elementelor neliniare.

4. În cazul utilizării unor metode folosind aproximări cu diferite grade de precizie a caracteristicilor neliniare, precizarea domeniului de existență a mărimilor de comandă a elementelor neliniare permite alegerea aproximației inițiale a caracteristicii, cu un grad de precizie suficient de ridicat.

Este probabil ca și în alte tipuri de probleme, cunoașterea domeniului de variație pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare să constituie o informație extrem de utilă.

2. Algoritm pentru determinarea domeniului de variație a mărimilor de comandă ale elementelor neliniare

Se consideră un circuit electric rezistiv cu surse independente și comandate, conținînd elemente liniare și neliniare. Drept bază de calcul se utilizează metoda variației parametrului [4]. Etapele algoritmului, propus pentru determinarea domeniului de variație a mărimilor de comandă ale elementelor neliniare, sînt următoarele :

1. Caracteristicile elementelor neliniare se translatează astfel încît să fie conținute în cadranele 1 și 3, în cazul cel mai general folosind două surse independente (fig. 2 a sau 2 b).

2. Se alege un arbore normal al circuitului. De notat că ramurile sînt constituite din laturi complexe serie, iar corzile din laturi complexe paralel (fig. 3 a și, respectiv, 3 b).

Trecerea de la o schemă-serie la o schemă-paralel și invers se face respectîndu-se teoremele de transfigurație ale circuitelor electrice și avînd în vedere semnificațiile fizice ale elementelor componente :

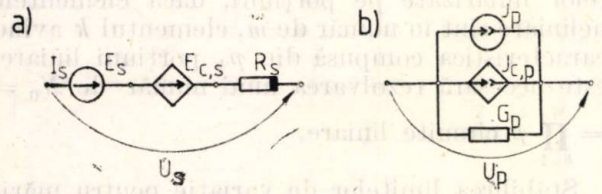


Fig. 3. Latură complexă serie (a) și paralel (b).

E_s și J_p sînt surse independente ;
$E_{c.s}$ și $J_{c,p}$ — surse comandate ;
R_s și G_p — parametrii elementelor liniare sau neliniare (în care caz se operează cu parametrii statici).

Elementele neliniare comandate în tensiune se consideră ca făcînd parte din ramuri, iar cele comandate în curent din corzi.

3. Se stabilește matricea de incidență $C_{\Sigma rc}$ a corzilor la secțiunile ramurilor.

4. Se determină matricea T_0 a funcțiilor de rețea pentru toți parametrii nuli :

$$T_0 = \begin{bmatrix} 0 & -C_{\Sigma rc} \\ -C^T_{\Sigma rc} & 0 \end{bmatrix}, \qquad (8)$$

unde matricea funcțiilor de transfer T leagă vectorii :

$$\begin{matrix} I_r \\ U_c \end{matrix} \Big] = T \cdot \begin{matrix} E_r \\ J_c \end{matrix} \Big], \qquad (9)$$

unde I_r este vectorul curenților din ramuri, U_c vectorul tensiunilor în lungul corzilor ș.a.m.d.

5. Aplicînd teorema de variație pentru calculul iterativ al matricei funcțiilor de transfer, se obțin, succesiv, matricele T_1, T_2, ... T_p prin introducerea succesivă a valorilor parametrilor p_1, p_2, ..., p_p a elementelor liniare ale laturilor complexe omogene.

Matricea T_p va fi determinată de partea liniară a circuitului.

6. Selectînd din matricea T_p liniile și coloanele corespunzătoare elementelor neliniare se calculează cele 2^m regimuri, corespunzînd combinațiilor de valori minime și maxime ale parametrilor statici ai elementelor neliniare (determinați pe caracteristicile translatate, conform pasului 1).

7. Din șirul de 2^m valori corespunzătoare neliniar se extrag valorile minimă și maximă, care precizează (limitează) domeniul de variație admisibil pentru mărimea de comandă a elementului neliniar considerat.

Aplicația 1. Se consideră circuitul din figura 4 a, în care elementele neliniare au caracteristicile indicate în figurile 4 b și 4 c.

Pentru a fi translatate în cadranele 1 și 3 sînt necesare următoarele schimbări de variabilă :

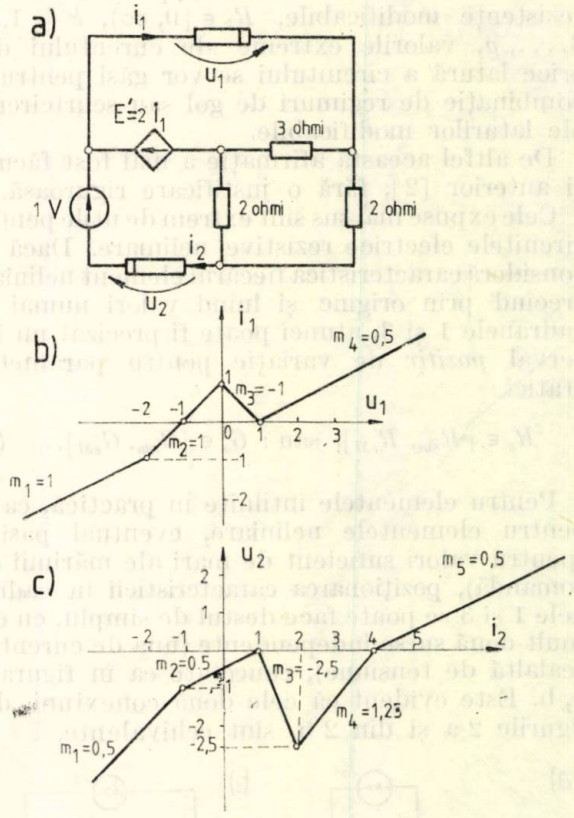


Fig. 4. a) Circuitul considerat la aplicația 1 ; b, c) caracteristicile elementelor neliniare.

a. pentru primul element neliniar :

$$u_1' = u_1 + 1,$$

echivalentă cu introducerea unei surse de t.e.m. în același sens cu tensiunea u_1 (figura 5) ;

b. pentru al doilea element neliniar :

$$u_2' = u_2 + 2{,}5$$
$$i_2' = i_2 + 2{,}5,$$

echivalentă cu introducerea unei surse de t.e.m. în același sens cu tensiunea u_2 și a unei surse de curent în paralel cu elementul neliniar, avînd sensul invers tensiunii (figura 5).

Pentru prima caracteristică translatată intervalul de variație al rezistenței statice este $R_{s1} \in [1 ; \infty)$, iar pentru cea de a doua $R_{s2} \in [0 ; 1{,}25]$. Corespunzător acestor limite de variație se construiește tabelul 1, din care rezultă limitele de variație a mărimilor de comandă ale elementelor neliniare.

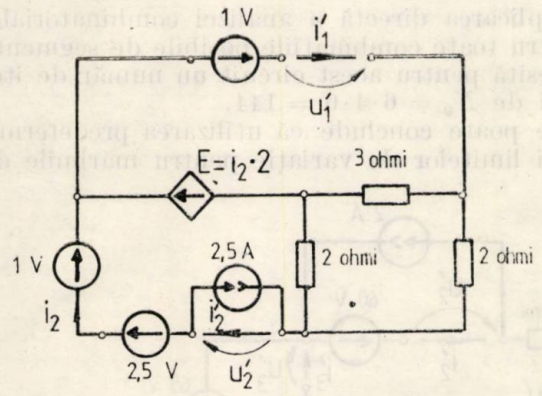


Fig. 5. Schema circuitului de la aplicația 1, după translatarea caracteristicilor în cadranele 1 și 3.

Tabelul 1

R_1	R_2	u_1'	i_2'	u_1	i_2
1	1,25	1,037037	2,19753	0,037037	−0,30247
1	0	2,214285	3,178571	1,214285	0,678571
∞	1,25	1,12	2,875	0,12	0,375
∞	0	3,22	4,95	2,22	2,45

Rezultă, deci, că se pot preciza intervalele:

$$u_1 \in (0{,}037037\,;\ 2{,}22),$$

$$i_2 \in (-0{,}30247\,;\ 2{,}45).$$

În consecință, pentru prima caracteristică se vor lua în considerație doar cele două segmente situate în cadranul 1, iar pentru cea de a doua caracteristică trei segmente de dreaptă.

În concluzie, pentru rezolvarea circuitului considerat sînt necesare zece analize de circuite liniare: patru pentru determinarea intervalului de variație al mărimilor de comandă și șase pentru a epuiza toate combinațiile posibile între segmentele de dreaptă corespunzătoare intervalelor de variație stabilite anterior. Utilizînd metoda combinatorială, numărul necesar de iterații este de $N_0 = 4 \cdot 5 = 20$.

Finalizînd calculele rezultă următoarele puncte de funcționare:

a) $i_1 = 0{,}428572$, $u_1 = 0{,}571428$, $i_2 = 0{,}523809$, $u_2 = -0{,}238095$;

b) $i_1 = 0{,}25$, $u_1 = 1{,}5$, $i_2 = 1{,}6666667$, $u_2 = -1{,}666667$;

c) $i_1 = 0{,}44$ $u_1 = 1{,}88$ $i_2 = 2{,}05$ $u_2 = -2{,}4375$.

Aplicația 2. Pentru circuitul din figura 6a, cele trei elemente neliniare au caracteristicile reprezentate în figurile 6 b, c și d.

Pentru translatarea caracteristicilor în cadranele 1 și 3 sînt necesare următoarele schimbări de variabilă:

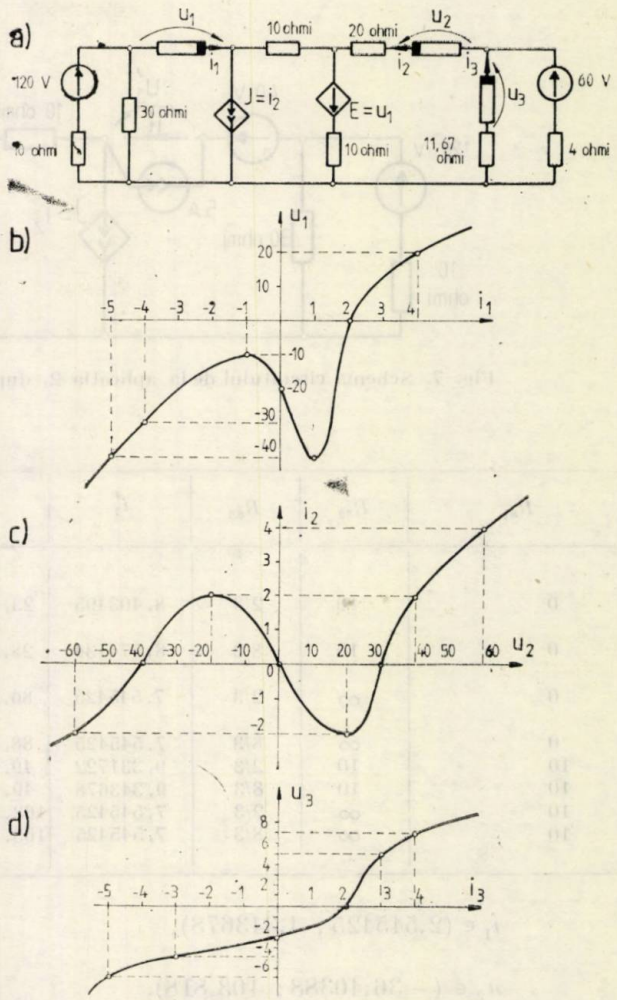


Fig. 6. a — Circuitul considerat la aplicația 2; b, c, d — caracteristicile elementelor neliniare.

a) $u_1' = u_1 + 40$, $\quad i_1' = i_1 + 5$,

b) $u_2' = u_2 + 60$, $\quad i_2' = i_2 + 2$,

c) $u_3' = u_3 + 3$, $\quad i_3' = i_3$.

Circuitul echivalent acestor translații este reprezentat în figura 7. Caracteristicile se aproximează prin segmente de dreaptă care trec prin punctele indicate în figură și anume: 6 segmente pentru prima caracteristică, 4 pentru cea de a doua și 6 pentru cea de a treia. Corespunzător acestor segmente de dreaptă și punctelor caracteristice, rezultă următoarele intervale de variație pentru rezistențele statice:

$$R_{s1} \in (0, 10)\,;\ R_{s2}\,(10, \infty)\,;\ R_{s3} \in \left(\frac{2}{3},\ \frac{8}{3}\right).$$

Pentru aceste valori limită ale rezistențelor statice rezultă, prin aplicarea algoritmului descris mai sus, valorile indicate în tabelul 2.

Pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare rezultă deci următoarele intervale de variație :

Aplicarea directă a analizei combinatoriale, pentru toate combinațiile posibile de segmente necesită pentru acest circuit un număr de iterații de $N_0 = 6 \cdot 4 \cdot 6 = 144$.

Se poate conclude că utilizarea predeterminării limitelor de variație pentru mărimile de

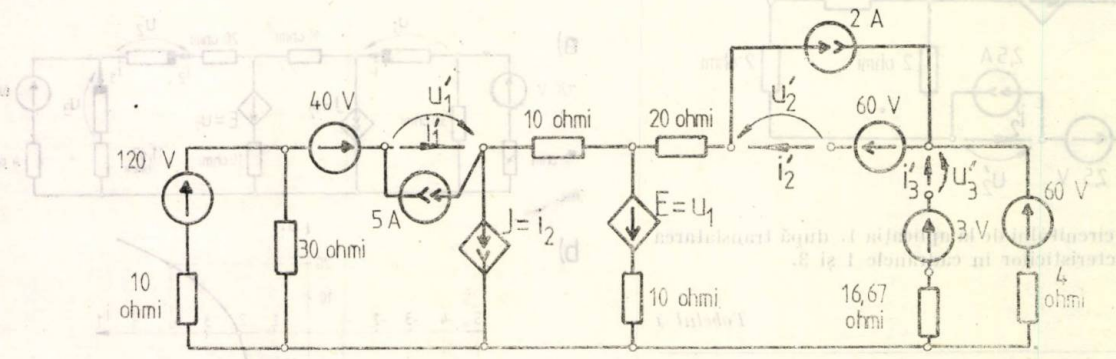


Fig. 7. Schema circuitului de la aplicația 2, după translatarea caracteristicilor în cadranele 1 și 3.

Tabelul 2

R_{s1}	R_{s2}	R_{s3}	i_1'	u_2'	i_3'	i_1	u_2	i_3
0	10	2/3	8,403495	23,59612	−3,40172	3,403495	−36,40388	−3,401 72
0	10	8/3	8,574134	28,2887	−2,928246	3,574134	−32,7113	−2,9282 46
0	∞	2/3	7,545425	86,627080	−3,979591	2,545425	26,627080	−3,979 591
0	∞	8/3	7,545425	88,363636	−3,54545	2,545425	28,363636	−3,545 45
10	10	2/3	9,331722	49,12237	−2,7795	4,331722	−10,87763	−2,7795
10	10	8/3	9,343678	49,545115	−2,46652	4,343678	−10,54885	−2,46652
10	∞	2/3	7,545425	162,08	−3,979591	2,545425	102,08	−3,979591
10	∞	8/3	7,545425	163,818	−3,54545	2,545425	103,818	−3,54545

$$i_1 \in (2{,}545425\,;\ 4{,}343678),$$

$$u_2 \in (-36{,}40388\,;\ 103{,}818),$$

$$i_3 \in (-3{,}979591\,;\ -2{,}46652).$$

Corespunzător acestor intervale de variație a mărimilor de comandă, din setul de segmente care aproximează caracteristicile, se vor lua în considerație : 2 pentru prima caracteristică, 4 pentru cea de a doua, și 2 pentru cea de a treia.

Analiza circuitului necesită, deci, un număr total de 24 iterații : 8 pentru determinarea intervalelor de variație ale mărimilor de comandă și 16 pentru epuizarea combinațiilor posibile care pot conduce la soluții. Finalizînd calculele se obține un singur punct de funcționare, în care elementele neliniare au la borne :

$$u_1 = 20\,;\ u_2 = -20\,;\ u_3 = -5 \text{ (volți)};$$

$$i_1 = 4\,;\ i_2 = 2\,;\ i_3 = -3 \text{ (amperi)}.$$

comandă ale elementelor neliniare, reduce sensibil volumul de calcule necesar pentru analiza combinatorială, în mod special în cazurile cînd aproximarea caracteristicilor se face printr-un număr mai mare de segmente de dreaptă.

3. Concluzii

În lucrare se stabilește existența unui domeniu limitat de variație pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare, dacă este posibilă translatarea caracteristicilor în cadranele 1 și 3. De observat că, pentru elementele eventual pasive, pentru care este demonstrată și o teoremă de existență [5], acest lucru este totdeauna posibil. Pentru determinarea practică a acestor domenii limitate de variație se propune un algoritm bazat pe metoda variației parametrului.

Această proprietate a circuitelor electrice neliniare poate fi utilizată cu succes în diferite scopuri :

— inițializarea metodelor interative de calcul cu valori de start apropiate, în mod cert, de zona de existență a soluțiilor;

— micșorarea volumului de calcule pentru analiza combinatorială a circuitelor liniarizate pe porțiuni, prin eliminarea din start a domeniilor interzise (aplicațiile de mai sus);

— în cazul analizei iterative, care utilizează îmbunătățirea succesivă a aproximării liniarizate a caracteristicilor, se poate pleca din start cu o aproximație suficient de bună (cu o dreaptă ce aproximează zona admisă pentru soluții);

— în cazul sintezei circuitelor cu puncte impuse de funcționare, se poate verifica compatibilitatea circuitului multiport cu valorile impuse, precum și în alte tipuri de probleme.

Se poate aprecia că lucrarea de față deschide o cale pentru alegerea optimală a valorilor inițiale, deziderat important al tuturor metodelor iterative.

În ceea ce privește stabilirea limitelor de variație pentru mărimile de comandă ale elementelor neliniare, ar putea fi studiată problema reducerii numărului de iterații (2^m), utilizînd o strategie de precizare a valorilor extreme pentru fiecare element, făcînd uz de monotonia variațiilor — valabilă și pentru funcțiile de transfer.

Bibliografie

[1] *Spinei, F.*, An extension of the variation theorem. În : Rev. roum., sci. techn., electrotechn. et energ., 23, 4, 1978, p. 523—530.

[2] *Spinei, F, Necula, N., Măgureanu, R.* Calculul circuitelor de ventilație ale mașinilor electrice utilizînd metoda Newton, inițializată printr-o metodă de încadrare. În : Electrotehnica 19, nr. 6, iunie 1971, p. 212—215.

[3] *Preda, M., Spinei, F., Ionescu, G., Andrei, H.* Application of the parameter variation method to the combinatorial analysis of the nonlinear electrical networks. AMSE Conference, Athens (Greece), june 27—29 1984.

[4] *Preda, M., Cristea, P., Ionescu, G.*, An optimal iterative method for hybrid transfer function computation. 4-th International Conference on Control Systems and Computer Science, Polytechnical Institute of Bucharest, 17—20 june, 1981.

[5] *Hănțilă, F., Spinei, F.* On the solution existence in nonlinear electrical resistive networks. In : Rev. roum., sci. techn., Electrotechn. et energ., 25, 2, 1980, p. 225—234.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice apare în cadrul Institutului de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru electrotehnică (I.C.P.E.). Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 şi 695 plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poştal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 301660501 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii, ca şi pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA şi AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export-import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001. — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea poligrafică „Informaţia“
Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 1314

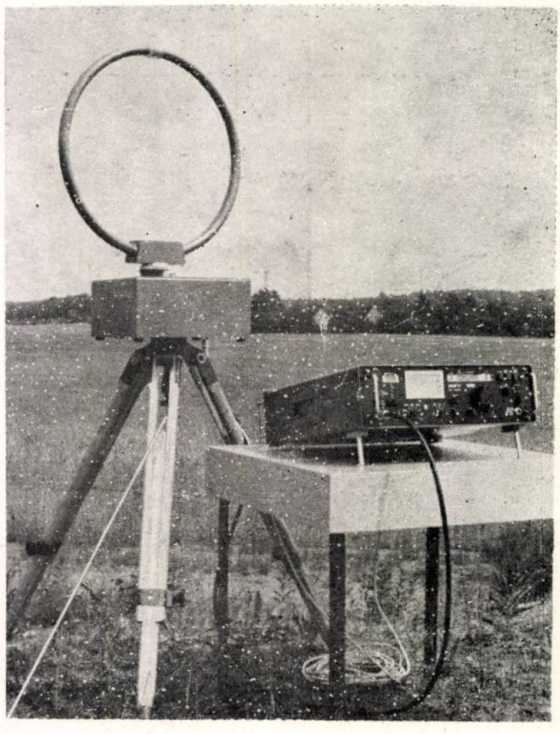
RFT

apreciat pe plan mondial în comunicaţii

Masă de măsură pentru măsurarea selectivă a tensiunii, intensităţii de propagare a cîmpului şi a perturbaţiilor radio.

Masa de măsură RFT tip FSM 11 face parte dintr-o nouă generaţie de aparate cu un înalt grad de standardizare.

Principalul domeniu de utilizare al mesei de măsură RFT este măsurarea tensiunii de parazitare şi a intensităţii cîmpului de parazitare cu respectarea recomandărilor internaţionale speciale.



VEB Kombinat Nachrichtenelektronik

DDR-7027 Leipzig, Melscherstr. 7

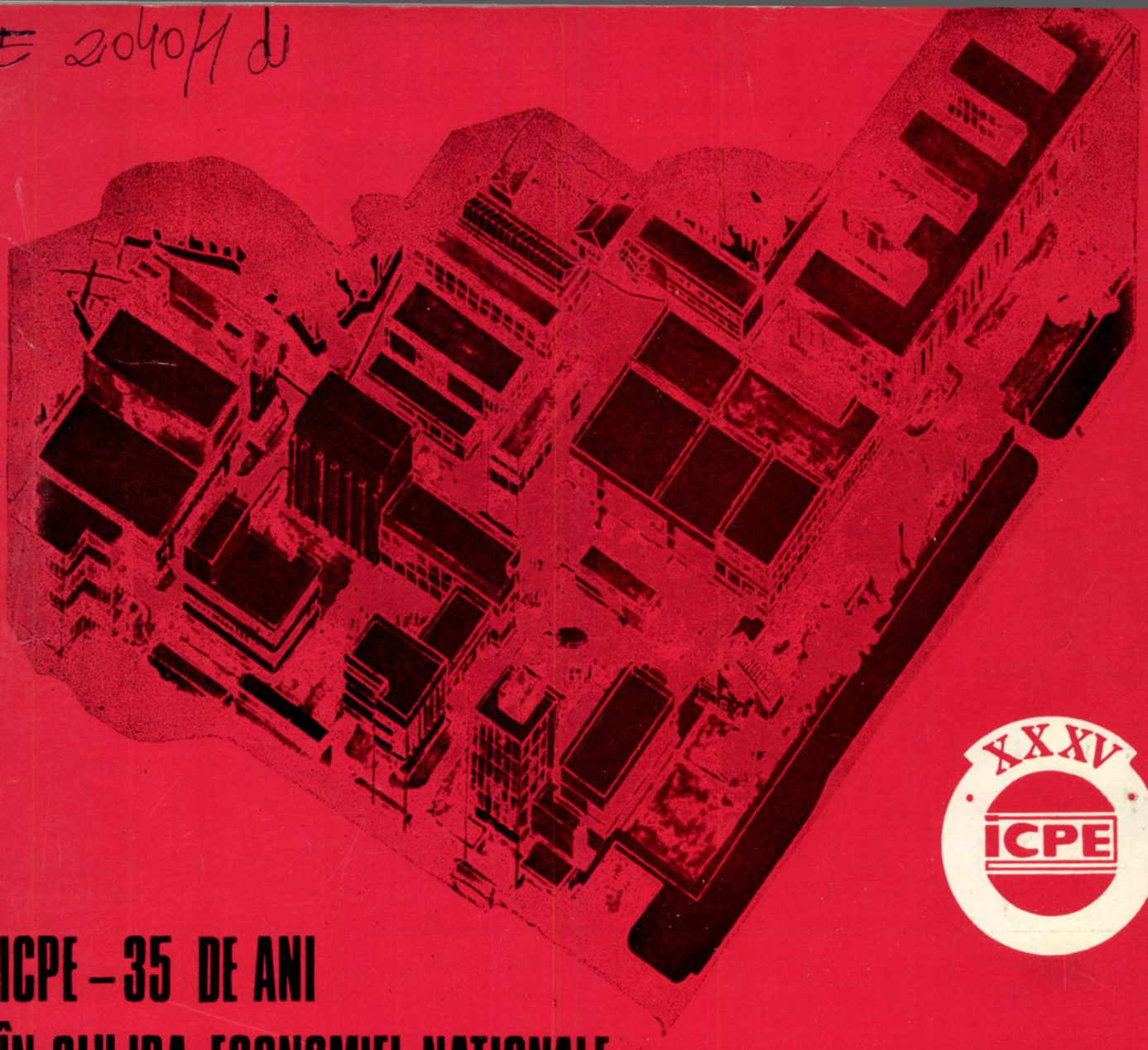
Exportator:

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR-1026 BERLIN-ALEXANDERPLATZ
• HAUS DER ELEKTROINDUSTRIE •

Reprezentanţa comercială a Ambasadei R.D.G.
în R. S. România
Sectorul Electrotehnică
Bucureşti, Str. Aurel Vlaicu, nr. 147, ap. 6
Telefon: 11.39.21

PRICE NOV 7 1

E 2040/1 d

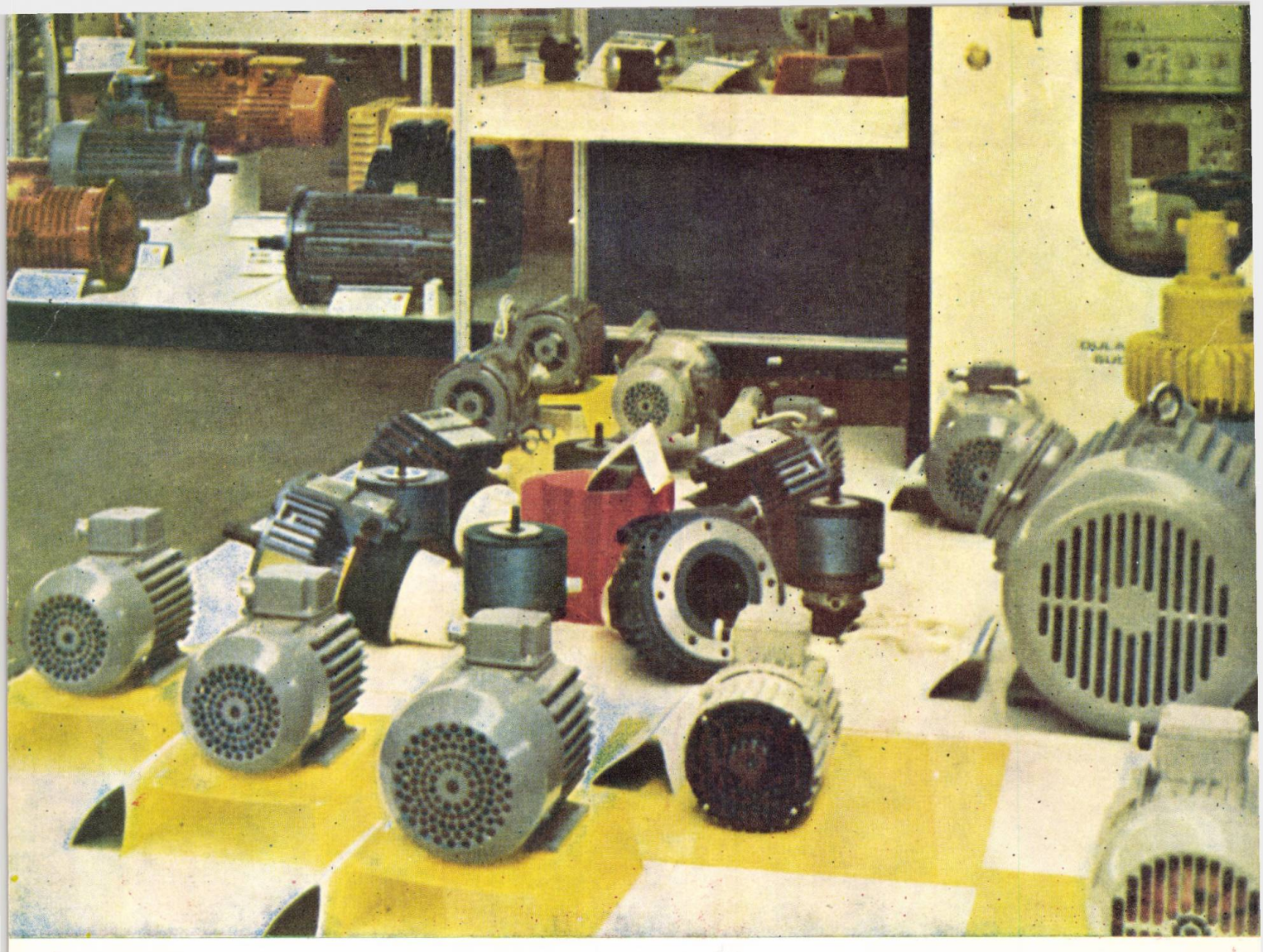


XXXV ICPE

ICPE – 35 DE ANI ÎN SLUJBA ECONOMIEI NAȚIONALE

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 33 • NR. 7-8 SEPTEMBRIE-OCTOMBRIE 1985



ICPE execută cercetări complete, prototipuri și serii zero cu documentații „la cheie" și asistență tehnică pentru:

- motoare electrice clasice de uz general, asincrone trifazate, cu rotor în scurtcircuit în construcție normală și derivată
- motoare electrice de construcție specială, motoare-frînă, motoare sincronizate cu magneți permanenți, motoare asincrone de cuplu
- servomotoare de c.c. cu întrefier axial și rotor-disc pentru mașini-unelte și roboți industriali, servomotoare cu comutație statică, cu rotor-pahar sau pas cu pas
- micromotoare de c.c. și c.a., tip electromagnet bifazat, cu cîmp rotitor sau cu histerezis, pentru acționări de mică putere
- generatoare pentru grupuri energetice, instalații de conversie mecano sau eoliano-electrică, grupuri convertizoare rotative, microgeneratoare sincrone cu magneți permanenți
- giromotoare pentru tehnică specială.

ICPE

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ ȘI INGINERIE TEHNOLOGICĂ PENTRU ELECTROTEHNICĂ

Bd. Tudor Vladimirescu nr. 45-47 București

Tel 31 41 00 ; Telex 10 486

Ce înseamnă

I.C.P.E.

pentru dumneavoastră?

- *Institut coordonator al domeniului industriei electrotehnice.*
- *Ajutor direct în activitatea de dezvoltare tehnică a produselor, utilajelor și echipamentelor specifice.*
- *Pregătirea de produse noi în domenii neabordate încă în întreprinderi.*
- *Dezvoltarea de echipamente pentru energii neconvenționale.*
- *Aport direct în realizarea unor sarcini de răspundere încredințate de conducerea superioară.*

Alexandru Neculа
ministrul industriei electrotehnice

ICPE-București reprezintă un for tehnic de referință, care prin spiritul de colaborare și competență profesională dovedită, a adus și aduce un aport direct la ridicarea permanentă a nivelului tehnic și calitativ al produselor".

Ing. Gheorghe Boldur
adjunct al ministrului industriei electrotehnice

„ICPE este un competent cercetător al orizontului electrotehnic, un virtuos realizator al noului, o garanție a calității tehnologiei și a nivelului ridicat al performanțelor produselor noastre".

Ing. P. Drăguș
directorul întreprinderii „Electroaparataj"—București

„În domeniul electrotehnicii ICPE este forul intern suprem care, pe lîngă coordonarea și elaborarea de noi soluții tehnice pentru probleme importante ridicate de industria noastră, dă verdictul final asupra soluțiilor concepute de oricare altă unitate din țară".

Prof. dr. ing. Coleta de Sabata
rectorul Institutului politehnic „Traian Vuia"—Timișoara

„Dezvoltat din dotări modeste, într-un ritm amețitor, ICPE a dat prilejul multor generații de ingineri să devină adevărați cercetători, conducînd alese colective în măsură să rezolve, plecînd de la cunoștințe teoretice, probleme din ce în ce mai importante cerute de necesitățile mereu crescînde ale industriei electrotehnice".

Acad. dr. doc. ing. Aurel Avramescu

„Leagănul performanțelor industriei electrotehnice românești, prezența în realizări care se întind de la giganți ca hidrocentrala de la Turnu-Severin pînă la peria celui mai mic motor electric, produse românești în multe țări ale lumii, energii neconvenționale puse la dispoziția economiei naționale, un element puternic și dinamic în peisajul științific și industrial al țării noastre — acestea și încă multe altele înseamnă ICPE pentru mine".

Ing. Octavian Juncu
directorul Institutului de cercetări electronice — București

„Dezvoltarea industriei de mecanică fină, în special a subramurii de aparate de măsură și control nu poate fi concepută fără sprijinul unor institute de specialitate pentru unele subansamble electrice sau electronice importante. Din acest punct de vedere, ICPE — un adevărat bastion al cercetării în cadrul MIE prin tradiția și profesionalismul specialiștilor săi — ne-a ajutat și ne ajută în mod substanțial în rezolvarea unor probleme de specialitate, de importanță majoră pentru centrul nostru de cercetare".

Ing. Doru Palade
directorul Centrului de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru mecanică fină și scule — București

„Un colectiv competent format din specialiști de mare ținută, colectiv de bază al cercetării științifice în industria electrotehnică, reprezentantul și coordonatorul industriei electrotehnice în domeniul colaborărilor tehnico-științifice internaționale.

Institutul a reprezentat în permanență, pentru IMEP, un sprijin în rezolvarea numeroaselor probleme apărute de-a lungul anilor în procesul de producție, contribuind la rezolvarea lor".

Ing. Mihai Zisu
directorul Intreprinderii de motoare electrice — Pitești

„ICPE — București reprezintă pentru IOR un for tehnic de referință și de avizare pentru stabilirea nivelului calitativ al părților electrotehnice și electronice din componența aparatelor optico-mecanice, precum și a nivelului calitativ al comportării acestora în diferite medii climatice".

Ing. Ion Rențea
director IOR — București

„Aplicînd tehnici de vîrf în toate domeniile de cercetare, de la micromașinile electrice și pînă la echipamentele primei centrale nuclearoelectrice, ICPE este, pentru noi, un colaborator de prestigiu în munca de cercetare și aplicare tehnologică, în întrecerea socialistă".

Dr. ing. Marin Ivașcu
directorul general al Institutului central de fizică — Măgurele

„Colaborarea Facultății de electrotehnică cu ICPE pe parcursul anilor și, în special, în urma angajării învățământului românesc în procesul de integrare a acestuia cu cercetarea și producția, a dovedit din partea prestigiosului institut recunoaștere și sprijin învățământului ca verigă de bază în dezvoltarea noastră și a afirmării acestuia în abordarea unei tematici de cercetare aplicativă și fundamental-orientată".

Prof. dr.ing. Ioan Bejan
decanul Facultății de electrotehnică
Institutul politehnic — Iași

„Cu multă plăcere am făcut cunoștință cu activitatea institutului dumneavoastră în domeniul industriei electrotehnice. Nivelul înalt al activității de cercetare desfășurată în institutul dumneavoastră demonstrează aportul considerabil al institutului la dezvoltarea științei și tehnicii.

Dorim institutului dumneavoastră noi succese în activitatea viitoare, care să contribuie la propășirea țării dumneavoastră. Sperăm ca și în viitor să menținem aceleași relații de colaborare".

L. Soloviov, V. Matveev
Academia de Științe a URSS

„Am rămas foarte impresionați de nivelul acestui institut care atinge, fără îndoială, cel mai mare prestigiu internațional. Activitatea sa multidisciplinară, infrastructura sa în ceea ce privește umanul și materialul, și mai ales pasiunea celor ce-l conduc, îi asigură un viitor și mai fructuos".

Wilfredo Tores
Președinte al Academiei de Științe din Cuba

„Am venit cu mare interes în institutul dv., despre care am auzit multe cuvinte de apreciere în Ungaria. Cele văzute și auzite ne-au convins de adevărul acestora. În decursul vizitei noastre am cunoscut procedee și soluții noi, semnificative. Apreciem că rezultatele activității de cercetare-dezvoltare de aici și rezultatele obținute de cercetarea maghiară în domeniul curenților tari ar trebui incluse într-un program de schimb de informații și de cooperare tehnico-științifică viitoare în acest domeniu. Această activitate comună ar avea drept urmare rezultate optime pentru ambele țări".

Istvan Müller
vicepreședinte al Comitetului Național pentru Dezvoltare Tehnică din R. P. Ungară

„Într-un timp relativ scurt am putut obține o privire generală asupra amplului program științific al institutului și asupra lucrărilor progresive care au dus la rezultate excelente.

Sînt impresionante lucrările care se execută în cooperare cu instituții și combinate din R.D.G.

Dorim colectivului institutului în continuare succese în activitatea sa, cu o înaltă eficiență, pentru construcția socialistă a țării sale frumoase".

Fritz Hilbert
ministru pentru știință și tehnică — R.D.G.

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

Anul 33 Nr. 7 — 8 septembrie — octombrie 1985

ELECTROTEHNICA

C U P R I N S

Editorial :

Tănăsescu, Fl. T. : **35 de ani ai Institutului de cercetări pentru electrotehnică — ICPE — în slujba industriei.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 275

CZ 621.313.2
MAŞINI ELECTRICE
Apetrei, C., ş.a. : **Din realizările Institutului de cercetări pentru electrotehnică — ICPE în domeniul maşinilor electrice.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 291
Se prezintă sintetic realizările şi perspectivele ICPE în domeniul motoarelor electrice.

CZ 621.314.5 :622.24
CONVERTIZOARE STATICE
INSTALAŢII DE FORAJ
Ciofu, L. V. : **Convertizoare statice pentru acţionări în forajul terestru din R.S.R.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 295
Sînt expuse preocupările ICPE în domeniul convertizoarelor statice de frecvenţă variabilă pentru antrenarea cu motoare de c.a. (sincrone şi asincrone în scurtcircuit) a instalaţiilor de foraj modernizate F. 125—EA(S) şi F. 200—EA(AS).

CZ 621.315.6 :621.315.212 : 621.316.2 :621.3.047.4
MATERIALE ELECTROTEHNICE
Ciofu, L. V. ş.a. : **Cercetările de material în ICPE şi progresele electrotehnicii româneşti.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 302
Se prezintă realizările mai recente şi preocupările actuale ale cercetărilor din ICPE în domeniul materialelor electrotehnice: magneţi permanenţi, contacte, perii, conductoare şi cabluri speciale, materiale pentru crioelectrotehnică, răşini şi lacuri, materiale combinate, electroceramică şi treceri izolate.

CZ 621.47 :621.314.2 :621.311.22
ENERGIE SOLARĂ
CONVERSIE FOTOVOLTAICĂ
CENTRALE TERMICE SOLARE
Moraru, D. ş.a. : **Aplicaţiile energiei solare.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 316
Sînt redate realizările ICPE în domeniul utilizării energiei solare, care s-au axat pe aplicaţiile generatoarelor fotovoltaice şi pe producerea energiei termice cu captatoare cu concentrare.

CZ 621.3 :001.13
ELECTROTEHNICĂ
PROIECTARE
Boconcios, I., Diatcu, E., Onica, P. : **Proiectarea asistată de calculator în electrotehnică.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 322
Lucrarea se referă la folosirea calculatorului în proiectarea sistemelor electrotehnice.

CZ 621.311 :338
CALITATEA PRODUSELOR ELECTROTEHNICE
Tănăsescu, Fl. T. : **Cercetări în domeniul atestării calităţii dezvoltate în ICPE.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 332
Se prezintă preocupările specialiştilor din ICPE în domeniul atestării calităţii produselor electrotehnice.

CZ 681.327.6 :621.3
ELECTRONIZARE
ELECTROTEHNICĂ
Tănăsescu, Fl. T. ş.a. : **Electronizarea electrotehnicii.**
E.E.A. — **Electrotehnica** 33, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 335
Articolul redă aspectele considerate de autori ca reprezentative etapei actuale în domeniul electronizării electrotehnicii.

CZ 621.3 :338.91
INVENŢII
INOVAŢII
Tănăsescu, Fl. T., ş.a. : **Invenţia brevetabilă în activitatea ICPE.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 338
Se face o prezentare istorică a evoluţiei în timp a activităţii de invenţii şi inovaţii în ICPE.

CZ 621.313
COLABORARE
MAŞINI ELECTRICE
Apetrei, C., ş.a. : **Rezultate ale colaborării dintre ICPE—Bucureşti şi IAEAME—Sfîntu Gheorghe pe linia promovării noului şi a progresului tehnic în fabricaţia de maşini electrice.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 350
Se reliefează unele probleme legate de colaborarea între ICPE şi IAEAME pentru realizarea unor produse cu performanţe la nivel mondial, ca şi creşterea gradului de valorificare a materiilor prime şi materialelor atît prin dezvoltarea de maşini electrice speciale, cît şi prin „înnobilarea" acestora cu sistemele aferente de comandă electronică.

CZ 621.33 :626.1
ELECTRONICĂ DE PUTERE
TRACŢIUNE FEROVIARĂ
Tănăsescu Fl. T. ş.a. : **Electronica de putere pe locomotiva românească.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 352
Lucrarea prezintă unele realizări ale ICPE pe linia introducerii electronicii de putere în tracţiunea feroviară şi soluţii adoptate pentru tiristorizarea locomotivei electrice de 5 100 kW

CZ 621.316.3
APARATAJ DE ÎNALTĂ TENSIUNE
COLABORARE
Popescu, C., Bârcă, C. T., Cîrstea, D. : **Statornică şi fructuoasă colaborare pentru dezvoltarea aparatajului electric de înaltă tensiune din România.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sep—oct 1985, p. 362
Prezentînd succint rezultatele cercetărilor din domeniul aparatajului de înaltă tensiune, efectuate pe parcursul a 35 de ani în ICPE şi implementate la întreprinderea „Electroputere" din Craiova, în colaborare cu Centrul de cercetare „Electroputere", se evidenţiază evoluţia unor produse ca: descărcătoare de supratensiuni, siguranţe fuzibile, contactoare cu suflaj magnetic, echipament cu SF_6, aparatură de încercare.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. ing. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei R. S. România ; prof. dr. ing. C. APETREI ; acad. dr. doc. şt. tehn. ing. A. AVRAMESCU ; ing. I. BĂTRÎNA ; dr. ing. C. BULUCEA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. S. CĂLIN ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. T. DORDEA ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HANGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; prof. dr. ing. S. PUŞCAŞU ; ing. M. SÎRBU ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI

Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

Передовая статья

Тэнэсеску Фл. Т.: **35 лет Научно-Исследовательского Института по электротехники (ICPE) в пользу промышленности.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, № 7-8, сент.-окт. 1985 г, стр. 275

УДК 621.313.2
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
Апетрей, С., и др.: **Из достижений Научно-Исследовательского Института по Электротехнически — ICPE в области электрических машин.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, № 7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 291

Обобщенно представляются достижения и перспективы ICPE в области электрических двигателей.

УДК 621.314.5: 622.24
СТАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
УСТАНОВКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ
Чиофу, Л. В.: **Статические преобразователи для приводов в земном бурении от СРР.**

Е.Е А-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 295

Изложенны занятия ICPE в области статических преобразователей переменной частоты для привода при помощи двигателей переменного тока (синхронные и асинхронные в коротком замыкании) модернизированных установок для бурения F. 125—EA(S) и F. 200—EA(AS).

УДК 621.315.6; 621.315.212
621.316.2; 621.3.047.4
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
Чиофу, Л. В., и др.: **Исследования материала в ICPE и румынские электротехнические прогрессы.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 302

Представляются более новые достижения и современные занятия исследований от ICPE в области электротехнических материалов: постоянные магниты, тконтакты, щетки, проводы и специальные кабели, материалы для криоэлектротехники, смолы и лаки, комбинированные материалы, электрокерамика и изолированные переходы.

УДК 621.47: 621.314.2: 621.311.22
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ
ФОТОВОЛТАИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
СОЛНЕЧНЫЕ ТЕРМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ
Морару, Д., и др.: **Применения солнечной энергии**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 316

Представленны достищения ICPE в области применения солнечной энергии, основанные на использования фотоволтаических генераторов и на производство термиской энергии при помощи снимателей с концентрацией.

УДК 621.3: 001.13
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
Бокончиос, И., Диатку, Е., Оника, П.: **Проектирование на основе калькулятора в электротехнике.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 322

Работа относится к использованию калькулятора в проектировании электротехнических систем.

УДК 621.311: 338
КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
Тэнэсеску, Фл. Т.: **Исследования в области удостоверения качества, развитые в ICPE.**

Е.Е.А-**Electrotehnica** 33, № 7-8, сент.-окт 1985 г., стр. 332

Представляются занятия специалистов от ICPE в области удостоверения о качества электротехнических изделий.

УДК 681.327.6: 621.3
ЭЛЕКТРОНИЗИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
Тэнэсеску, Фл. Т., и др. **Электронизирование электротехники.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 335

Статья представляет аспекты, считанные авторами, как представительными для современного этапа в области электронизирования электротехники.

УДК 621.3: 338.91
ИЗОБРЕТЕНИЯ
НОВОВВЕДЕНИЯ
Тэнэсеску, Фл. Т., и др.: **Изобретение может получать патент в деятельности ICPE.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 338

Проводится историческое представление развития во времени деятельности в области изобретений и нововведений в ICPE.

УДК 621.313
СОТРУДНИЧЕСТВО
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
Апетрей, К., и др.: **Результаты сотрудничества между ICPE Бухарест и IAEAME Сфынту-Георге по линии выдвижения нового и технического прогресса в производстве электрических машин.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 350

Выявляются некоторые вопросы, связанные сотрудничеством между ICPE и IAEAME с целью выполнения некоторых изделий с результатами на мировом уровне, а также и повышения степени оценивания сырье и материалов так и при помощи развития специальных электрических машин, как и посредством их ,,облагораживания'' с приносящими системами электронного управления.

УДК 621.33: 626.1
МОЩНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ ТЯГА
Тэнэсеску, Фл. Т., и др.: **Мощная электроника на румынском локомотиве.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 352

Работа представляет некоторые достижения ICPE по линии введения мощной электроники в железнодорожном тяге и принятые решения для тиристоризации электрического локомотива 5100 КВт.

УДК 621.316.3
ОСНАЩЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ СОТРУДНИЧЕСТВО
Попеску, К., Быркэ, К. Т., Кырстеа, Д.: **Постоянное и успешное сотрудничество для развития оснащения электрическими измерительными приборами высокого напряжения от СРР.**

Е.Е.А.-**Electrotehnica** 33, №7-8, сент.-окт. 1985 г., стр. 362

Кратко предстъвляя результаты исследований в области оснащеня измерительными приборами высокого напряжения, проведенных в течении 35 лет в ICPE и введенных в производство в предприятии ,,Электропутере'' Краиова, в сотрудничестве с Исследовательским Центром ,,Электропутере'', выявляется развитие некоторых изделий; разрядники перенапряжений, плавкие предохранители, контакторы с магнитной продувкой, узел типа SF_6 испытательная аппаратура.

I N H A L T

Leitartikel :

Tănăsescu, Fl. T. : **35 Jahre des Forscherinstituts für Elektrotechnik — ICPE — im Dienst der Industrie.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S.275

DK 621.313.2
ELEKTRISCHE MASCHINEN
Apetrei, C., u.a. : **Einige Realisierungen des wissenschaftlichen Forschungs für die Elektrotechnik — ICPE im Bereich der elektrischen Maschinen.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 291
Es werden die Realisierungen und die Perspektiven im Bereich der Elektromotoren des wissenschaftlichen Forschungs — und technologischen Ingenieurinstituts für die elektrotechnische Industrie — ICPE kurz zusammengefasst dargestellt

---

DK 621.314.5 :622.24
RUHENDE UMFORMER
BOHRANLAGEN
Ciofu, L. V. : **Ruhende Umformer für Antriebe der Bohranlagen in der SRR.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 295
Es wird die Tätigkeit des wissenschaftlichen Forschungs- — und technologischen Ingenieurinstituts für die elektrotechnische Industrie — ICPE im Bereich der ruhenden Umformer mit variabler Frequenz für den Antrieb mit Wechselstrommotoren (synchron und asynchron im Kurzschluss) der modernisierten Bohranlagen F. 125 — EA(S) und F. 200 — EA (AS) dargestellt.

DK 621.315.6 :621.315.212
621.316.2 :621.3.047.4
ELEKTROTECHNISCHE MATERIALIEN
Ciofu, L. V. u.a. : **Die Forschungen im Bereich der Materialien beim wissenschaftlichen Forschungs Institut für die Elektrotechnik — ICPE und die Leistungen der rumänischen Elektrotechnik.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 302
Es werden die jüngsten Realisierungen und die gegenwärtige Tätigkeit der Forscher aus dem wissenschaftlichen Forschungs — und technologischen Ingenieurinstitut für die elektrotechnische Industrie — ICPE im Bereich der elektrotechnischen Materialien dargestellt : Permanentmagnete, Kontakte, Bürsten, Konduktoren und spezielle Kabeln, Materialien für die Kryoelektrotechnik, Harze und Lacke, kombinierte Materialien, Elektrokeramik und isolierte Übergänge.

DK 621.47 :621.314.2 :621.311.22
SOLARENERGIE
PHOTOVOLTAISCHE KONVERSION
THERMISCHE SOLARZENTRALEN
Moraru, D. u.a. : **Die Anwendungen der Solarenergie.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 316
Es werden die Realisierungen des wissenschaftlichen Forschungs — und technologischen Ingenieurinstituts für die elektrotechnische Industrie — ICPE im Bereich der Ausnützung der Solarenergie dargestellt, die auf die Anwendungen der photovoltaischen Generatoren und auf der Erzeugung der thermischen Energie mit Kollektoren mit Konzentrierung beruhen.

DK 621.3 :001.13
ELEKTROTECHNIK
ENTWURF
Boconcios, I., Diatcu, E., Onica P. : **Der rechnerunterstützte Entwurf in der Elektrotechnik.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt., 1985, S. 322
Die Arbeit bezieht sich auf den Einsatz des Rechners beim Entwurf der elektrotechnischen Systeme.

DK 621.311 :338
DIE QUALITÄT DER ELEKTROTECHNISCHEN PRODUKTE
Tănăsescu, Fl. T. : **Forschungen im Bereich der Attestierung der Qualität die beim ICPE entwickelt wurde.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 332
Es wird die Tätigkeit der Spezialisten des wissenschaftlichen Forschungs — und technologischen Ingenieurinstituts für die elektrotechnische Industrie — ICPE im Bereich der Attestierung der Qualität der elektrotechnischen Produkte dargestellt.

DK 681.327.6 :621.3
ELEKTRONISIERUNG
ELEKTROTECHNIK
Tănăsescu, Fl. T. u.a. : **Die Elektronisierung der Elektrotechnik.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 335
Der Artikel beschreibt die Aspekte, die von den Autoren als repräsentativ für die gegenwärtige Etappe im Bereich der Elektronisierung der Elektrotechnik betrachtet werden.

DK 621.3 :338.91
ERFINDUNGEN
NEUERUNGEN
Tănăsescu, Fl. T. u.a. : **Die patentierbare Erfindung in der Tätigkeit des ICPE.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 338
Es wird der zeitliche Verlauf der Erfindungs — und Neuerungstätigkeit im wissenschaftlichen Forschungs — und technologischen Ingenieurinstitut für die elektrotechnische Industrie — ICPE historisch dergestellt.

DK 621.313
ZUSAMMENARBEIT
ELEKTRISCHE MASCHINEN
Apetrei, C. u.a. : **Ergebnisse der Zusammenarbeit zwischen dem ICPE Bucureşti und IAEAME Sfintu Gheorghe zum Zweck der Förderung des Neuen und des technischen Fortschritts in der Herstellung von elektrischen Maschinen.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S 350
Es werden einige Probleme im Zusammenhang mit der Zusammenarbeit zwischen dem wissenschaftlichen Forschungs — und technologischen Ingenieurinstitut für die elektrotechnische Industrie — ICPE und IAEAME zum Zweck der Realisierung einiger Produkte mit Grenzwerten beim Weltniveau, sowie das Wachsen des Verwertungsgrades der Rohstoffe und Materialien, sowohl durch die Entwicklung von speziellen elektrischen Maschinen, als auch durch deren „Veredlung" mit den zugehörigen elektronischen Steuerungssystemen dargestellt.

DK 621.33 :626.1
LEISTUNGSSTARKE ELEKTRONIK
ZUGBEFÖRDERUNG
Tănăsescu, Fl. T. u.a. : **Die leistungsstarke Elektronik für die rumänische Lokomotive.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 352
Die Arbeit beschreibt einige Realisierungen des wissenschaftlichen Forschungs — und technologischen Ingenieurinstituts für die elektrotechnische Industrie — ICPE betreffs der Einführung der leistungsstarken Elektronik in der Zugbeförderung und einige eingesetzte Lösungen für die Bestückung mit Thyristoren der elektrischen Lokomotive von 5100 kW.

DK 621.316.3
HOCHSPANNUNGSAPPARATUR
ZUSAMMENARBEIT
Popescu, C., Bârcă, C. T., Cirstea, D. : **Konstante und wertvolle Zusammenarbeit für die Entwicklung der elektrischen Hochspannungsapparatur in Rumänien.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, Nr. 7—8, Sept. — Okt. 1985, S. 362
Es werden die Ergebnisse der Forschungen im Bereich der Hochspannungsapparatur kurz dargestellt, Forschungen die im Laufe von 35 Jahren beim wissenschaftlichen Forschungs — und technologischen Ingenieurinstitut für die elektrotechnische Industrie — ICPE ausgeführt und beim Betrieb „Electroputere" in Craiova angewendet wurden, in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum „Electroputere" und es wird die Entwicklung einiger Produkte wie : Entlader von Überspannungen, Schmelzsicherungen, Kontaktgeber mit magnetischer Soufflage, Ausrüstung mit SF_6, Testapparatur beschrieben.

CONTENTS

Editorial :

Tănăsescu, Fl. T. : **Research Institute for the Electrotechnical Industry 35 Years in the Service of the Industry.**
E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 275

DC 621.313.2
ELECTRICAL MACHINES

Apetrei, C., and others : **Some Achievements of the Research and Development Institute for Electrotechnics (I.C.P.E.) in the Field of Electrical Machines.**
E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 291

The achievements and prospects of R & D Institute for Electrotechnics (I.C.P.E.) in the field of electrical motors are synthetically presented.

DC 621.314.5 :622.24
STATIC CONVERTERS
DRILLING EQUIPMENTS

Ciofu, L., V. : **Static Converters for Power Operations within Terrestrial Drilling in the Socialist Republic of Romania.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 295

The author presents the preoccupations of I.C.P.E. in the field of variable frequency static converters that set in action the F. 125—EA(S) and F. 200—EA(AS) modernized drilling equipments using a.c. motors (short-circuited synchronous and asynchronous motors).

DC 621.315.6 :621.315.212
621.316.2 :621.3.047.4
ELECTRO-TECHNICAL MATERIALS

Ciofu, L., V. and others : **Material Researches in I.C.P.E. and Progresses of the Romanian Electrotechnics.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 302

There are presented the latest achievements and the present preoccupations of researches within I.C.P.E. in the field of electrotechnical materials : permanent magnets, contacts, brushes, special conductors and cables, materials for cryoelectrotechnics, synthetic resins and varnishes, combined materials, electroceramics and insulated passages.

DC 621.47 :621.314.2 :621.311.22
SOLAR ENERGY
PHOTOVOLTAIC CONVERSION
SOLAR POWER STATIONS

Moraru, D., and others : **Solar Energy Applications.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 316

The authors present the achievements of I.C.P.E., in the field of the utilization of solar energy, centred around the applications of photovoltaic generators and around thermal energy engendering using concentration collectors.

DC 621.3 :001.13
ELECTROTECHNICS
DESIGN

Boconcios, I., Diaicu, E., Onica, P. : **Design in Electrotechnics with the Help of the Computer.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 322

The paper refers to the utilization of the computer in designing electro-technical systems.

DC 621.311 :338
QUALITY OF ELECTRO-TECHNICAL PRODUCTS

Tănăsescu, Fl., T. : **Researches in the Field of Quality Attestation Developed in I.C.P.E.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.— oct. 1985, p. 332

The author presents the preoccupations of the specialists in I.C.P.E. in the field of quality attestation of electro-technical products.

DC 681.327.6 :621.3
ELECTRONIZATION
ELECTROTECHNICS

Tănăsescu, Fl., T., and others : **Electrotechnics Electronization**
E.E.A. —**Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 335

The article presents the aspects considered as representative for the present stage in the field of electrotechnics elec tronization.

DC 621.3 :338.91
INVENTIONS
INNOVATIONS

Tănăsescu, Fl., T., and others : **Patentable Inventions in the Activity of I.C.P.E.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 338

The authors survey the evolution in time of the invention and innovation activity in I.C.P.E.

DC 621.313
CO-OPERATION
ELECTRICAL MACHINES

Apetrei, C., and others : **Results of Co-Operation between I.C.P.E.-Bucharest and IAEAME-Sfintu Gheorghe in order to Promote the New and the Technical Progress in Producing Electrical Machines.**
E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 350

The paper emphasizes some problems regarding the co-operation between I.C.P.E. and IAEAME in order to achieve some products with world-wide level performances, as well as, the growth of the evaluation degree of raw materials both through the development of special electrical machines and equiping these machines with due systems of electronic controls.

DC 621.33 :626.1
POWER ELECTRONICS
RAILWAY TRACTION

Tănăsescu, Fl., T., and others : **Power Electronics on the Romanian Electric Locomotive.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 352

The paper presents some achievements of I.C.P.E. in the direction of introducing power electronics in railway traction and some solutions adopted for the thyristorization of 5100 kW electric locomotive.

DC 621.316.3
HIGH VOLTAGE APPARATUS
CO-OPERATION

Popescu, C., Bârcă, C., T., Cîrstea, D. : **Permanent and Fruitful Co-Operation in order to Develop High Voltage Electric Apparatus in Romania.**

E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 362

Briefly presenting the results of the researches in the field of high voltage apparatus, carried out during 35 years in ICPE and implemented at ,,Electroputere" Craiova in co-operation with the Research and Development Centre ,,Electroputere", the authors emphasize the evolution of such products as : surge arresters, fuses, magnetic blow contactors, SF_6 equipment, test equipment.

SOMMAIRE

Editorial

Tănăsescu, Fl., T. : **35 ans de l'Institut de recherche pour l'électrotechnique (ICPE), dans les service d'industrie.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 275

CZ 621.313.2
MACHINES ÉLECTRIQUES
Apetrei, C. : **Des réalisations de l'Institut de recherche pour électrotechnique — I.C.P.E. dans le domaine électrique.**
E.E.A. — **Electrotehnica** 33, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 291
On présente d'une manière scientifique les réalisations et les perspectives de I.C.P.E. dans le domaine des moteurs électriques.

CZ 621.314.5 :622.24
CONVERTISSEURS STATIQUES
INSTALLATIONS DE FORAGE
Ciofu, L., V. : **Convertisseurs statiques pour des actionnements dans le forage terrestre de la République Socialiste de Roumanie.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p.295
On expose les préoccupations de I.C.P.E. dans le domaine des convertisseurs statiques en fréquence variable pour la commande aux moteurs de courant alternatif (synchrones et asynchrones en courteircuit) des installations de forage modernes F 125—EA(S) et F 200—EA(AS).

CZ 621.315.6 :621.315.212
621.316.2 :621.3.047.4
MATÉRIAUX ÉLECTROTECHNIQUES
Ciofu, L., V. : **Etudes du matériel en I.C.P.E. et les progrès de l'électrotechnique roumaine.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33,** nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 302
On présente les plus récentes réalisations et les préoccupations actuelles des recherches de I.C.P.E. dans le domaine des matériaux électrotechniques : aimants permanents, connexions, brosses, conducteurs et câbles spéciaux, matériaux pour la cryoélectrotechnique, résines et laques, matériaux mixtes, électrocéramique et traverses isolées.

CZ 621.47 :621.314.2 :621.311.22
ENERGIE SOLAIRE
CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE
CENTRALES THERMIQUES SOLAIRES
Moraru, D. : **Applications de l'énergie solaire.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 316
On présente les réalisations de I.C.P.E. dans le domaine de l'emploi de l'énergie solaire qui ont été basées sur les applications des générateurs photovoltaïques et sur la génération d'énergie thermiques avec des capteurs à concentration.

CZ 621.3 :001.13
ELECTROTECHNIQUE
PROJECTION
Boconcios, I., Diaicu, E., Onica, P. : **Projection assistée par le calculateur dans l' électrotechnique.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 322
Cet ouvrage se rapporte à l'emploi du calculateur dans la projection des systèmes électrotechniques.

CZ 621.311 :338
QUALITÉ DES PRODUITS ÉLECTROTECHNIQUES
Tănăsescu, Fl., T. : **Etudes dans le domaine de l'attestation de la qualité développée à I.C.P.E.**
E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 332
Dans l'ouvrage on présente les préoccupations des spécialistes dans le domaine de l'attestation de la qualité des produits électrotechniques.

CZ 681.327.6 :621.3
ELECTRONISATION
ELECTROTECHNIQUE
Tănăsescu, Fl., T. : **L'électronisation de l'électrotechnique.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 335
L'article présente les aspects considérés par les auteurs comme représentatifs à l'étape actuelle dans le domaine de l'électronisation de l'électrotechnique.

CZ 621.3 :338.91
INVENTIONS
INNOVATIONS
Tănăsescu, Fl., T. : **Invention brévetée dans l'activité de ICPE.**
E.E.A.—**Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985 p. 338
Présentation historique de l'évolution en temps de l'activité des inventions et des innovations à ICPE.

CZ 621.313
COLLABORATION
MACHINES ÉLECTRIQUES
Apetrei. C. : **Les résultats de la collaboration entre ICPE Bucharest et IAEAME Sfintu Gheorghe pour le développement du progrès technique dans la fabrication des machines électriques.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985 p. 35
L'ouvrage met en évidence quelques problèmes concernant la collaboration entre ICPE et IAEAME pour la réalisation des produits de hautes performances, ainsi quel' augmentation du degrès de valorification des matières brutes et des matériaux pour le développement des machines électriques spéciales et par l'amelioration de celles-ci avec des systèmes afférents de commande électronique.

CZ 621.33 :626.1
ELECTRONIQUE DE PUISSANCE
TRACTION SUR CHEMIN DE FER
Tănăsescu, Fl., T. : **Electronique de puissance.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 352
L'ouvrage présente quelques réalisations de ICPE concernant l'introduction de l'électronique de puissance pour la traction sur chemin de fer et des solutions adoptées pour des locomotives électriques de 5100 kW aux thyristors.

CZ 621.316.3
APPAREILLAGE DE HAUTE TENSION
COLLABORATION
Popescu, C., Bărcă, C., T. Cîrstea, D. : **Collaboration permanente et fructueuse pour le développement de l'appareillage électrique de haute tension de Roumanie.**
E.E.A. — **Electrotehnica 33**, nr. 7—8, sept.—oct. 1985, p. 362
Tout en faisant une présentation succinte des résultats des recherches du domaine de l'appareillage de haute tension, effectuées à ICPE et implementées à l'usine „Electroputere" Craiova, en collaboration avec le Centre de recherche „Electroputere", on met en évidence l'évolution des produits comme : déchargeurs de surtensions, coupe-circuits à fusible, contacteurs à soufflage magnetique, équippement à SF_6, appareillage d'essai.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA
ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE

Electrotehnica 7—8

35 de ani ai Institutului de cercetări pentru electrotehnică (ICPE) în slujba industriei

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU

Cuvînt înainte

Mărturisesc că ideea de a prezenta locul şi rolul jucat de ICPE în dezvoltarea industriei electrotehnice româneşti mi s-a conturat cu mulţi ani în urmă. Dacă „ceva" însă m-a împiedicat de fiecare dată ca, aplecat asupra unor foi de hîrtie, să o pot face, aceasta s-a datorat complexităţii evoluţiei institutului în timp şi temerii autorului acestor rînduri că nu va reuşi să prindă în modul cel mai fidel etapele sale cele mai caracteristice. Iar fiecare întîrziere în luarea hotărîrii mă punea într-o dilemă suplimentară: aceea că multe din lucrurile trăite în institut puteau acum — reţinute de memoria timpului — să primească, poate, o semnificaţie mai profundă, fiind privite prin prisma unuia care a participat la multe evenimente şi pe care experienţa de viaţă îl putea conduce la a amplifica o pondere, o semnificaţie.

Am încercat să mă conving că, dimpotrivă, acest lucru va da unor asemenea informaţii ceva în plus, de mare utilitate pentru cei ce vor veni după noi, o oglindă mai firească asupra unei perioade complexe de construcţie a electrotehnicii moderne româneşti, aceea de apariţie explozivă a sa, de profundă angajare a electricienilor români, perioadă plină de romantism şi căreia cei mai mulţi i-au fost contemporani.

Industria cu „caracter electric" era cunoscută în România anilor 1944 prin prezenţa unor mici ateliere de construcţii de motoare electrice şi aparataj de distribuţie, de radio şi telefonie, de acumulatoare şi corpuri de iluminat. Dar, chiar dacă acest început era timid, exista mediul propice pe care o nouă societate socială, care se anunţa, putea să gîndească dezvoltarea unei industrii electrotehnice puternice şi anume existenţa unor tradiţii, a unui fond de oameni, de mare valoare profesională şi morală, specialişti în adevăratul sens al cuvîntului, cunoscuţi şi recunoscuţi ca personalităţi de valoare în electrotehnica mondială.

Este demn de reţinut faptul că, încă în anul 1905 la Şcoala naţională de poduri şi şosele din Bucureşti, apărea prima catedră cu specific electrotehnic, condusă de profesorul Nicolae Vasilescu-Karpen, care a iniţiat predarea electricităţii şi electrotehnicii pe baze moderne, în paralel cu cercetările sale de mare originalitate în domeniul pilelor şi a telefoniei multiple. Exista deci, cadrul organizatoric care să permită apariţia unor electricieni de valoare ca elevi ai şcolii, sau apoi, ca profesori de înaltă ţinută ştiinţifică. C. Budeanu introduce în electrotehnică conceptul de putere deformantă, de mare actualitate şi în anii noştri, continuat cu aceeaşi ardoare, ca domeniu, de I. S. Antoniu, Remus Răduleţ şi apoi de şcoala sa formată, care pun bazele electrotehnicii moderne, după cum I. S. Gheorghiu şi Cezar Parteni-Antoni dezvoltă nu numai noi concepte în domeniul maşinilor electrice, dar, mai mult dau chiar posibilitatea de a învăţa şi a şti cum să construieşti o maşină electrică. Academicianul Aurel Avramescu, studiind procesele adiabatice ale încălzirii cuprului şi aluminiului, utilizate în electrotehnică, ajunge la ecuaţii însuşite larg în electrotehnica mondială. Prof. Al. Nicolau şi Ştefan Grosu, activînd în deceniile 3—5 ale secolului nostru, dovedesc nu numai că au fost cadre didactice cu contribuţii menţionate în literatura de specialitate, ci şi oameni ai unei industrii care începea să se profileze. Aş mai menţiona contribuţiile profesorului Tudor Tănăsescu în domeniul electronicii, ale lui Dimitrie Leonida, care a contribuit la dezvoltarea iluminatului electric şi introducerea tramvaielor în Bucureşti, ca şi ale lui Paul Dimo, prin grafurile sale REI, aplicate astăzi peste tot în lume.

Cît despre domeniul automatizărilor, al fondării ciberneticii, chiar dacă contribuţiile româ-

neşti aduse de medicul Ştefan Odobleja şi inginerul Paul Postelnicu, care introduc principiile reacţiei pozitive şi negative în cibernetică în aceeaşi perioadă cu Norbert Wiener (1948), considerat fondatorul acestei ştiinţe, sînt încă în discuţie, totul demonstrează că existau oamenii cărora, dîndu-li-se mijloacele visate în ani, ar putea să dezvolte o industrie electrotehnică autohtonă.

Este meritul Partidului Comunist Român, de a fi înţeles ce înseamnă dezvoltarea electrotehnicii pentru economia nouă a ţării, sprijinind permanent şi generos dezvoltarea acestui sector, ajuns astăzi, doar în patru decenii, la nivelul de maturitate tehnică şi organizatorică pe care îl cunoaştem.

1. Scurte date de istorie

● Prin HCM 868/1950 se înfiinţează în cadrul Ministerului Energiei Electrice: Direcţia de proiectări electrotehnice (DPET) şi Institutul de cercetări electrotehnice (ICET).

● Prin HCM 357/1954, prin unirea celor două unităţi menţionate mai sus, apare Institutul de cercetări şi proiectări electrotehnice (ICPET), al cărui prim director este numit profesorul „honoris causa" Alexandru (Sandi) Nicolau.

● HCM 1049/1957 reglementează problema proiectării capacităţilor de producţie într-o concepţie unitară, transferînd sectorul de proiectări fabrici electrotehnice de la ICPET la Institutul de tehnologia construcţiilor de maşini (ITCM).

● Prin HCM 191/1963, se reorganizează activitatea de proiectare din cadrul Ministerului Metalurgiei şi Construcţiilor de Maşini, apărînd o serie de unităţi de cercetare noi:

— Institutul de cercetări electronice (ICE);
— Institutul de proiectări pentru automatizări (IPA);
— Institutul de cercetare şi proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) — fostul ICPET — care cedează secţiile de electronică şi de automatizări, pe scheletul cărora se vor dezvolta primele două institute; ICPE va prelua în schimb sectorul de proiectări uzine al ITCM. În registrul de stat al întreprinderilor din România este menţionat, la 3 iulie 1963, ca prim director al ICPE, ing. Gheorghe Hortopan.

● Prin Dispoziţia nr. 392163 din 14.11.1963 se transferă de la ICPE la IPRS—Băneasa colectivul de semiconductoare, nucleu care va deveni ulterior, prin dezvoltare, Institutul de cercetări pentru componente electronice.

● Prin HCM 1998/1963 se crează un nou institut independent: Electrouzinproiect, prin desprinderea din cadrul ICPE a secţiei de proiectări uzine şi dezvoltarea sa puternică.

● Ordinul MICM nr. 3143/1.02.1970 numeşte în funcţia de director al ICPE pe dr. ing. Florin Teodor Tănăsescu.

● Prin Decretul nr. 139/30.04.1974 ICPE este menţionat în grupa „institute mari".

● Decretul nr. 552/9.01.1978 stabileşte că Centrul de cercetare „Electroputere"—Craiova intră în gestiunea economică a ICPE, act rămas în acţiune pînă la 3.08.1979 (Decret 295).

● Prin organigrame se înfiinţează:

— la 1 iunie 1979—filiala ICPE-Iaşi cu profil de traductoare, elemente gazodinamice, aparate de măsură şi control;

— la 1.01.1982—filiala ICPE-Bistriţa-Năsăud cu profil de materiale electrotehnice, echipamente electrice pentru industria alimentară, acumulatoare şi aplicaţii ale unor surse noi de energie;

— la 1.09.1982—filiala ICPE—Tg. Mureş cu profil de electronică de putere, electrotermie, echipamente electrice pentru tehnologii neconvenţionale;

— la 1.03.1985 filiala ICPE—Sf. Gheorghe, cu profil de ceramică şi materiale electrotehnice, motoare electrice.

2. Tematici abordate de institut în anii existenţei sale

Primii patru ani ai activităţii sale — 1950 — — 1954 — coincid cu perioada în care şi industria electrotehnică românească începe să se dezvolte, să-şi creeze primele capacităţi legate în special de asigurarea bazei de electrificare a ţării. Trebuiau realizate primele dezvoltări în domeniul aparatajului electrotehnic, cablurilor şi izolatoarelor, motoarelor electrice mari, care să susţină dezvoltarea sistemului energetic. De aceea şi activitatea celor două direcţii a fost axată pe proiectarea noilor capacităţi bazate pe studiile de fezabilitate întocmite de direcţia de cercetare. A fost o muncă intensă, nu numai pentru a găsi soluţiile tehnice cele mai potrivite, dar şi pentru a lua, încă de la început, în calcul resursele materiale indigene de caolin, uleiuri minerale, materiile prime pentru scheme de izolaţie, cele pentru conductoare electrice şi emailuri, hîrtii electroizolante, micanitele. În plus, prin decretul de constituire, se prevedea că institutul „va fi dotat cu un laborator de încercări", care să testeze produsele realizate în sectorul electrotehnic, primul nucleu al actualei secţii de calitate.

Începea să se contureze clar o serie de cercetări în domeniul proiectării seriilor unitare de motoare de c.c., al descărcătoarelor cu rezistenţă neliniară, componente electromecanice pentru hidrocentrala „V.I. Lenin" Bicaz, baterii de condensatoare. Se sesizează conturarea unor noi domenii legate de automatizarea cazanelor Vuia (construcţii originale caracterizate printr-un mare randament), automatizarea încărcării vagoanelor de superfosfaţi de la Valea Călugărească sau instalaţia de acid sulfuric de la Copşa Mică. Tot acestei perioade i se pot atribui pri-

mele aparate de măsură și control cercetate și realizate de institut cu multe elemente de originalitate : fluxmetre, coercimetre, permeametre.

Ca date de istorie, ținînd seama de dezvoltările viitoare, se întocmea primul memoriu tehnic ce viza investiția Institutului de cercetări electrotehnice (1954), justificat nu numai de noile cereri ale industriei, dar și de faptul că și o asemenea unitate se putea implica în rezolvarea unor probleme acute ale dezvoltării electrotehnicii românești.

Perioada anilor 1955 — 1960 se poate caracteriza prin începutul unei diversificări a preocupărilor institutului. Nu putea fi vorba de o specializare îngustă, frontul pe care trebuia acționat fiind larg, îmbrățișa activități și profile variate, inclusiv cele de proiectări construcții și hale industriale, pentru care partea de cercetare trebuia să ofere tehnologiile și echiparea.

Anul 1955 marchează, în tematica institutului, o serie de cercetări de pionierat în domeniul tehnologiilor și anume al mașinilor de găurit prin scîntei electrice (realizarea lor fusese menționată numai cu cîțiva ani înainte de Lazarenco în URSS) al uscării cu radiații infraroșii a ceramicii și motoarelor. Sînt de remarcat primele divizoare de tensiune de 750 kV, instalația de încercat cabluri de 150 kV c.c. și tehnologia de realizare a magneților sinterizați, dată de la care se poate considera că începe istoria cercetării și dezvoltării de magneți în ICPE.

Din domeniul automatizărilor, în același an se realizează telecomanda centralizată a iluminatului public în București.

Anul 1956 este dominat și de realizarea de către ing. R. Zăroni a primelor echipamente de automatizare pentru filtrele electrostatice ce se asimilează în România, după o soluție al cărui brevet își păstrează și astăzi valabilitatea, și care se înscrie în rîndul celor mai eficiente scheme de comandă. Tot în acel an se semnează actul de naștere al unui nou domeniu, deschis de ing. I. Cservenyi — care a fost, o perioadă, și director adjunct al institutului — acela al climatizării produselor pentru mediul tropical umed și altitudine, impus de exporturile de motoare și aparataj electrotehnic, care începeau să se prefigureze și care se vor dezvolta alert în anii ce vor urma.

Se menționează în acel an trecerea fabricației de celule de seleniu din ICPE la „Electromagnetica", dovadă a gîndirii institutului că transferul tehnologic spre industrie este scopul final al oricărei cercetări pe care o dezvoltă, principiu devenit dominant în anii ce au urmat, la toate colectivele.

În anul 1956 se mai semnalează inițierea primelor cercetări în domeniul utilizării rășinilor de turnare pentru transformatoare de forță, precum și realizarea, în premieră românească, a feritelor de bariu. Se realizează, prin concepție proprie, un generator de impuls de tensiune de 750 kV pentru încercări ale echipamentelor de înaltă tensiune la supratensiuni de comutație.

Aș mai remarca un rezultat deosebit al anului 1956 și anume acela că institutul a angajat direct din facultate un număr de peste 35 absolvenți de diverse specialități, aproape un sfert din numărul total al inginerilor aflați la acea vreme în institut, ceea ce i-a conferit o mare vigoare, politică urmărită consecvent pînă în zilele noastre.

Anul 1957 înscrie alte cîteva preocupări noi în profilul ICPE, care vor deschide noi domenii de cercetare și cu rezultate valoroase : studiul zgomotului și vibrațiilor la mașini, primul receptor de televiziune alb-negru, primul monocristal de siliciu pentru semiconductoare, a cărui rezistivitate era de ordinul a 800—900 Ωcm, cînd pe plan mondial era de ordinul a 1 200 Ωcm, realizat printr-o instalație de tragere zonală concepută și executată de ICPE (fig. 1), ca și generatorul de înaltă frecvență, a cărui dată de naștere în domeniu o putem considera tot în acel an. Se dezvoltă sisteme de automatizare a proceselor de extracție gaz metan și țiței și se realizează o serie de complexe de telemăsură în impuls, pentru diverse obiective.

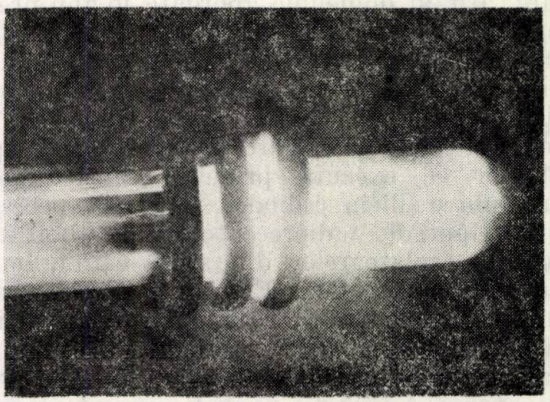


Fig. 1. Primul monocristal de siliciu realizat în ICPE în anii 1956—1957.

Cercetarea de material cunoaște noi direcții, legate de realizarea carborundului electrotehnic românesc pentru descărcătoare, a ceramicii piezo pentru radioreceptoare și ultrasunete.

Ca tehnici noi de măsură, la Brașov se realizează o stație de încercări la scurtcircuit pentru aparatajul de medie tensiune, iar în studiul fenomenelor se aplică, pentru prima oară, modelarea pe calculatoare analogice. Și un lucru nou — pentru că oamenii simțeau nevoia să comunice — prima sesiune de comunicări cu genericul „Întrebări și răspunsuri" — dovadă că oamenii începeau să se întrebe și în special, să caute răspunsuri.

„Noutățile" anului 1958 le-au constituit tehnicile de degresare ultrasonică și de defectoscopie

realizate, conductorii de cupru emailați pentru motoare electrice și condensatoarele ceramice, automatizarea conductei de gaz metan Țicleni—București, controlul centralizat al stației de compensare pentru magistrala Nord ; ca priorități de mare importanță : prima mașină-unealtă comandată după program imprimat pe bandă de magnetofon și instalația electrică de automatizare a troleibuzelor. Se realizează, prima țeavă cu aripioare, după brevet ICPE (fig. 2).

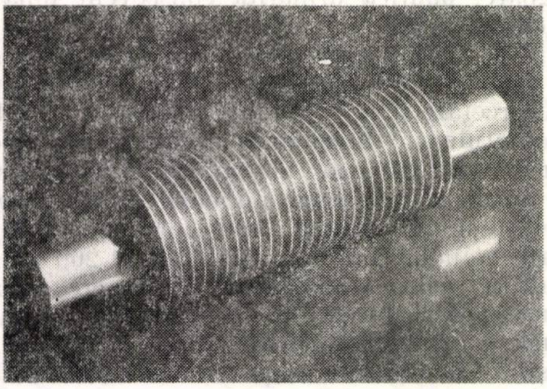


Fig. 2. Țeavă cu aripioare realizată după o tehnologie proprie, brevet ICPE.

Anul 1959 este și el bogat în rezultate de valoare, atît în domeniile abordate în anii precedenți, cît și în altele deschise acum prin noi cercetări. Se realizează prima serie unitară de transformatoare de putere cu înfășurări de aluminiu și răcirea unităților mari cu baterii de răcire cu țevi cu aripioare. În domeniul componentelor se execută primele tranzistoare cu germaniu și siliciu și diodele cu siliciu, necesare noilor tipuri de radioreceptoare. Se abordează tematica izolatoarelor din sticlă călită, într-o perioadă în care doar Franța și URSS aveau asemenea preocupări, realizînd în acei ani o primă linie electrică experimentală în zona Craiova, cu o funcționare ireproșabilă. Începe să se contureze o direcție ce va fi puternic dezvoltată în viitor : aceea a acționărilor de putere pentru remorchere propulsate diesel-electric, a standurilor de încercări pentru locomotivele diesel, pentru stații de încercări la scurtcircuit (Electroaparataj), comutatoare cu subreglaj sub sarcină, sisteme de cracare a hidrocarburilor în arc electric de c.c. ; se dezvoltă primele condensatoare funcționînd la 8 000 Hz.

Anul 1960 consemnează apariția primelor transformatoare cu tole laminate la rece, seria de transformatoare de joasă tensiune și de motoare asincrone în gama 0,8 — 100 kW. Contribuții deosebite aduce institutul la asimilarea unor aparate, materiale, componente reprezentînd „orizontala" locomotivei diesel-electrice de 2 300 CP, asimilată prin licență Brown Boveri, activitate pentru care numeroși cercetători primesc ordine și medalii ale statului nostru. Apare primul proiect de standard în domeniul încercărilor climatice (printre primele în lume), fundamentat de rezultatele a numeroase cercetări dezvoltate în laboratoarele ICPE sau în stațiile în microclimat natural pe care și le-a organizat (marin, agrar, minier, industrial) și pe care le va dezvolta și în continuare.

Perioada anilor 1961—1965 găsește ICPE-ul puternic antrenat în marile tematici ce vizau o dezvoltare a electrotehnicii românești în ritmuri mereu mai înalte.

Dintre realizările mai importante ale anului 1961 se pot menționa : sistemele telemecanice pentru sondele în pompaj, seria de siguranțe de mare putere de rupere, seria de motoare asincrone de 100 — 1 000 kW și cea de amplificatoare magnetice, primele mașini electrice executate în climat TH.

Se contura deja din anul 1961, apărînd în arhiva institutului : primul studiu vizînd crearea unui institut de cercetări electronice, institut care, de altfel, a devenit operațional în anul 1963.

Dintre „premierele" anului 1962 cîteva se disting prin valoarea soluției. Aș menționa, din rîndul acestora, regulatoarele pentru sistemele de excitație a hidrogeneratoarelor de pe Bistrița de la Pîngărești (fig. 3), continuate apoi în

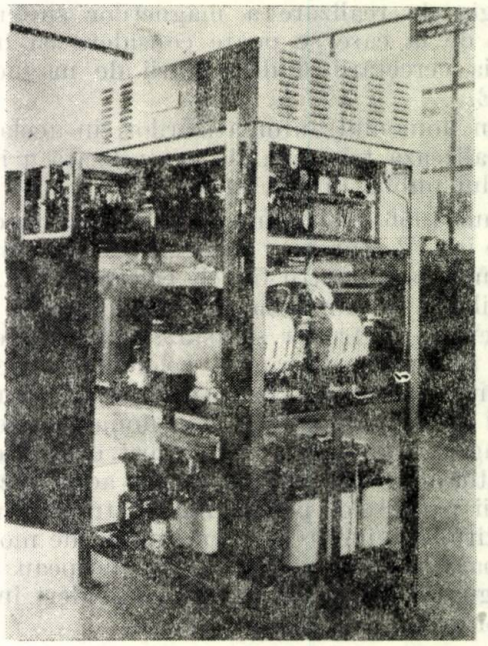


Fig. 3. Regulator pentru sistemul de excitație al hidrogeneratoarelor de pe valea Bistriței.

toată „salba" de la Pîngărești II, Gîrleni, Racova, Bacău I, II etc., cele pentru centrala de pe Argeș, la care s-a venit cu soluții de mare originalitate și care astăzi, după mai bine de 20 de ani, putem spune că s-au comportat în mod deosebit. Începe să se contureze prin rezultate de valoare un nou domeniu : acela al redresoarelor de putere. al celor de sudură, legat și

de faptul că, datorită unor cercetări anterioare ale ICPE, industria dispunea de ventile de siliciu. Am lăsat la urmă acționarea în c.c. a instalației electrice de foraj E75, străbuna actualelor instalații de foraj, comandate electronic, apărută într-o perioadă în care numai General Electric-Franța făcuse la acea dată o asemenea instalație (fig. 4).

Viziunea institutului privind dezvoltarea acționărilor electrice în foraj, larg sprijinită de specialiștii de la IPCUP și coordonată competent de inginerii R. Zăroni, E. Lapedatu, a făcut ca astăzi România să se înscrie în rîndul

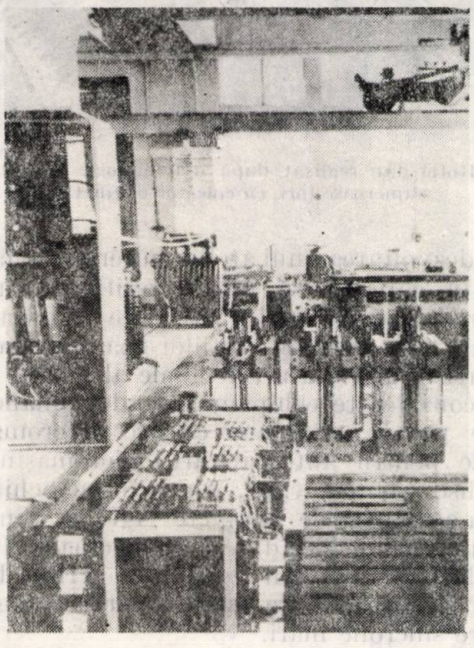


Fig. 4. Echipamente de acționare pentru prima instalație românească de foraj, acționată electric, E 75.

țărilor cu cele mai moderne soluții de acționare, fapt justificat și de cererile mereu sporite la export pentru asemenea echipamente.

Anul 1963 consemnează completarea seriei de diode redresoare de siliciu, ajungînd, la această dată, la valorile 8, 25, 50 — 200 A, care, completate cu siguranțele ultrarapide cercetate și executate de ICPE, a făcut posibilă dezvoltarea originală a substațiilor de tracțiune bazate pe ventile de Si. Succese mari apar în realizarea siguranțelor fuzibile de 6—35 kV, 400 MVA, a separatoarelor de sarcină și a descărcătoarelor de 110 kV cu suflaj magnetic, la care se sesizează multe elemente de originalitate. Preocuparea de utilizare a calculatoarelor electronice în cercetare ne conduce la proiectarea primelor serii de motoare electrice asincrone și de transformatoare pe propriul calculator aflat în dotare, un ICL-1902.

Cîteva tematici deosebite au depășit în anul 1964 rezultatele pe o linie mereu ascendentă ale insitutului. Mai întîi, metodele de detecție a descărcărilor parțiale și a echipamentelor de măsurare aferente în transformatoare și aparataj, la care contribuțiile originale ale academicianului A. Avramescu, dr. ing. Ch. Popescu, dr. ing. Fl. T. Tănăsescu, dr. ing. I. Radu, ing. M. Stoica, au făcut ca țara noastră să ocupe o poziție de prim rang în acest domeniu, lucrările colectivului fiind menționate în numeroase publicații de specialitate. Aș continua apoi cu primele micromotoare impregnate în rășini epoxi, seria de transformatoare uscate 100 — — 1 600 kVA, acționarea compresoarelor cu cilindri opuși și agregatul de redresare de 2 400 kW la 525 V, valori cu totul inedite, chiar pe plan internațional, pentru acei ani.

Perioada anilor 1965 — 1970, caracterizată atît printr-o dotare în ritm dinamic și cu un personal cu o excelentă calificare, marchează apariția unor noi succese ale colectivelor, al căror număr crește, îmbrățișînd domenii tot mai largi de activitate.

Anul 1965 înscrie în realizările institutului un nou echipament electric modernizat pentru troleibuzul TV-2E, transformatoare cu conductoare din Al emailat, apariția domeniului de bunuri de larg consum, redresoare pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare pentru locomotiva de mină.

În 1966, ICPE dezvoltă noi tipuri de contacte sinterizate din W, materiale magnetostrictive, contactoare de medie tensiune de 6—20 kV, seria de condensatoare cu dielectric clorurat, regulatoarele de la sistemul de hidrocentrale de pe Bistrița, Vaduri, Gîrleni, Bacău I și II, agregatul automatizat pentru baia de eloxare cartere la întreprinderea „23 August"—București, instalația de redresare pentru baia de cromare dură a tijelor pentru complexul „Porțile de Fier" (15 000 A, 12 V), instalație care și astăzi funcționează ireproșabil. Se dezvoltă un nou domeniu, care va căpăta o pondere mai mare de la an la an, acela al micromotoarelor pentru servomecanisme.

Realizarea de prestigiu a anului 1967 o reprezintă instalația de foraj F-200, acționată cu motoare de c.c. și tiristoare, o dezvoltare originală și cu performanțe de înalt nivel (fig. 5). Se realizează unele lacuri semiconductoare, treceri metal-sticlă, primele folii din Al emailat și magneți tip Alnico și din Mn-Al (fig. 6a). Un nou domeniu se deschide, acela al crioelectrotehnicii; noi materiale ceramice se elaborează în ICPE (fig. 6b).

Anul 1968 consemnează alte realizări importante ale ICPE : troleibuzul articulat TV-2EA, echipamente de depunere în vid a monooxidului de Si pe reflectoare, borne tripolare pentru agregate frigorifice, fiare de călcat cu termoregulator, primele contactoare în aer și vid, micromașini cu rotor-disc, care vor constitui un punct de extremă atenție din partea institutului și o realizare de prestigiu, cu performanțe similare

cu ale celor mai bune firme (fig. 7). Institutul sesizează din nereușita tehnologică a primului fier de călcat cu termoregulator că nu este suficient să faci un prototip în zece exemplare în condiții de laborator și cu oameni de înaltă calificare la montaj, iar în fabrică, în alte condiții, să nu mai iasă același lucru. Decizia a fost

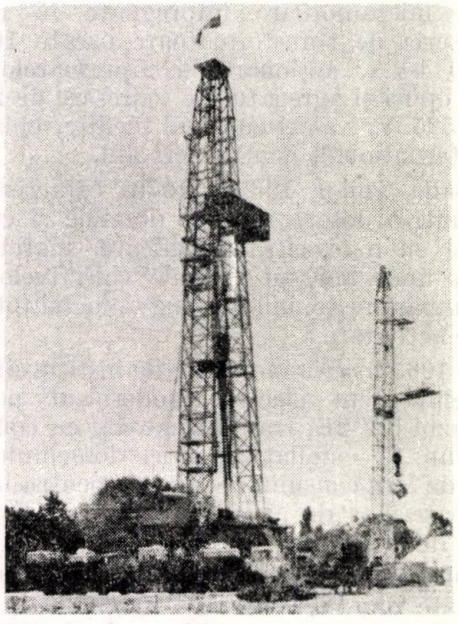
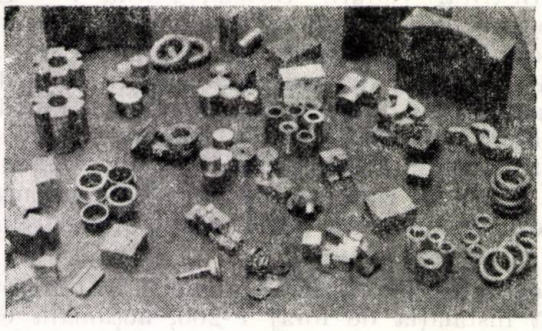
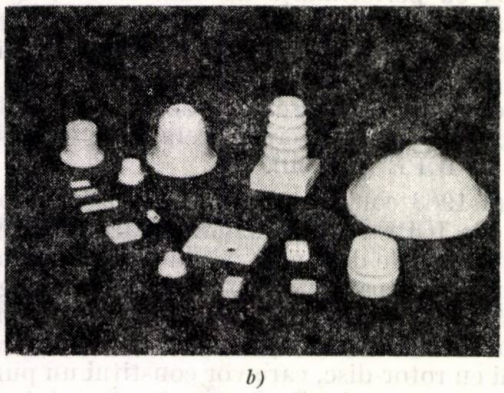


Fig. 5. Instalația de foraj electrică F 200 cu echipamentul electric cu tiristoare, realizat de ICPE.



a)



b)

Fig. 6. Materiale magnetice (a) și ceramice (b), realizate în ICPE.

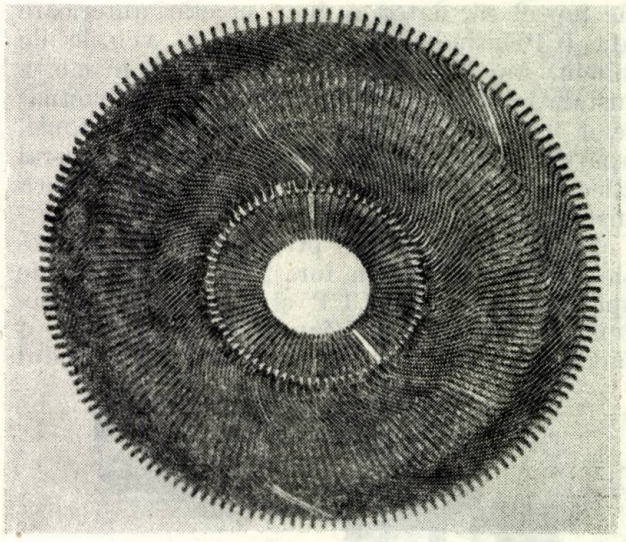


Fig. 7. Rotor-disc realizat după o tehnologie patentată în numeroase țări, cu colector distinct.

clară : dezvoltarea unui atelier puternic de fabricație, în care să se poată verifica la nivel industrial orice prototip, de unde și creșterea nivelului tehnologic al soluțiilor noastre viitoare.

Reprezentative ca nivel tehnic al anului 1969 pot fi considerate echipamentele de comandă și reglare pentru cuptoare cu arc, micromașini speciale pentru automatizări, micromașini cu rotor-disc pentru vane, surse electrochimice tip Zn-aer, primele contacte AgCdO. Sînt de reținut contribuțiile aduse de participarea ICPE la realizarea primului generator MHD de la ICPET și sistemele de excitație statică pentru motoare sincrone mari.

În anul 1970, un nou domeniu de largi perspective începe a fi abordat, acela al straturilor fotosensibile pentru electrofotogarfiere, care vor permite în următorii ani realizarea primelor mașini electrostatice de copiat. Este realizată prima electrotehnologie de înaltă performanță : deformarea electromagnetică printr-o colaborare cu specialiști ai Facultății de electrotehnică din București. Se pun bazele sistemelor de acționare directă a morilor de ciment.

De la etapă la etapă se constată o puternică concentrare pe unele tematici, ca și pe rezultatele oferite rapid de institut, a căror explicație se găsește, printre altele, în creșterea nivelului tehnologic și a bazei de investigare, așa cum se va vedea în capitolele ulterioare. Se poate spune, pe bună dreptate, că perioada începînd cu anul 1965, rod al investițiilor și sprijinului substanțial acordat institutului de conducerea de partid și de stat, înregistrează rezultate de înaltă ținută.

Perioada 1971 — 1975 reprezintă o etapă importantă în viața institutului, consolidat ca dotare și colective de lucru, și tot mai puternic solicitat de economia națională.

Anii 1971—1972 se caracterizează prin dezvoltarea unor tehnici corelate cu realizarea unor noi materiale electrotehnice, introducerea masivă a diodelor și tiristoarelor. Pot fi menționate primele substații de tracțiune minieră, echipate în acest fel, noi tipuri de redresoare industriale cu tiristoare, convertizoare statice de frecvență. Electronica de putere începe să pătrundă puternic în cercetările noastre, remarcîndu-se, dintre realizări, echipamentul de comandă în sistem Ward-Leonard al instalației de foraj F-500—DE, instalațiile de încercare în regim recuperativ, începutul realizării primelor echipamente pentru platforma de foraj marin, echipamentele tiristorizate pentru tramvaie.

În domeniul motoarelor, o nouă serie de motoare asincrone (gabarit 56—280) este elaborată de institut, ca și cea cu frîne înglobate (gabarit 90—160).

Anul 1973 este dominat de cîteva lucrări de mare valoare științifică: echipament electric pentru un cuptor de retopire cu electrod consumabil, primele generatoare pentru mașini de prelucrat prin electroeroziune (fig. 8), elec-

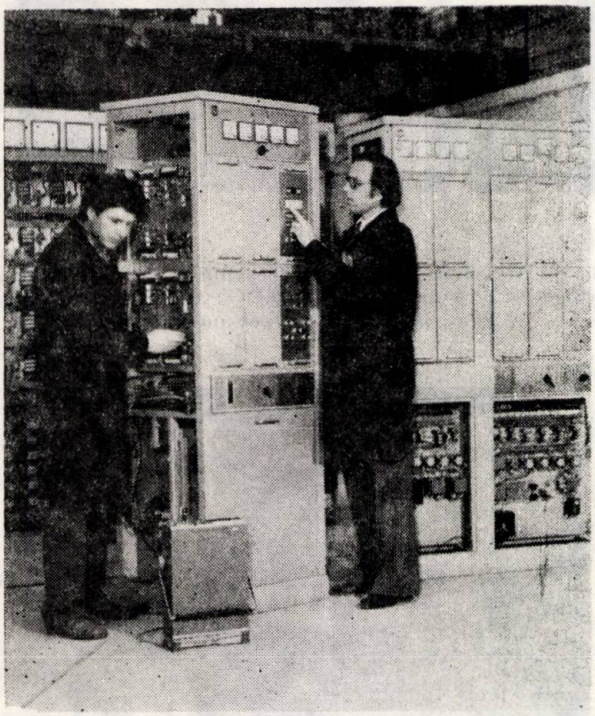


Fig. 8. Generatoare de impuls pentru mașini cu electroeroziune, după patent ICPE.

trochimie, filtrele de armonici pentru regimuri deformante, ale căror performanțe se situau la nivelul unor firme recunoscute pe plan internațional. Tot în acest an, în concepție proprie, se dezvoltă pilotul pentru realizarea foliei de cupru pentru stratificate (fig. 9).

Anul 1974 marchează cîteva premiere ale institutului: primul model de xerograf, seria de motoare cu rotor-disc de 1,5—4 kW, primele traductoare de poziție tip inductosyn, liniare și rotative (fig. 10), magneți de mare energie, scheme de izolație pentru clasele B și F, care prin performanțe dovedeau creșterea forței de concepție a institutului; în 1975 ele vor fi completate cu aparatura electrostatică industrială

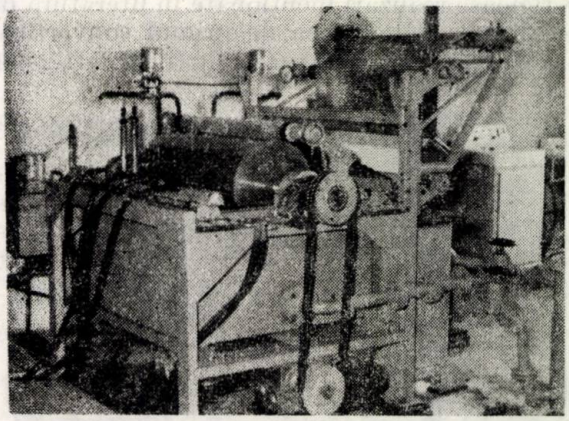


Fig. 9. Instalație pilot pentru realizarea foliei de cupru pentru circuite placate.

dezvoltată, jocurile mecanice tip „Bowling", echipamentul de acționare pentru autobuzul electric, tahogeneratoare de c.c. cu rotor-disc. Două evenimente importante în viața institutului le constituie abordarea echipamentelor pentru viitorul metrou (substație de tracțiune, o serie de echipamente electrice pentru vagon) și crearea sistemului de documentare automată pe calculator, sistemul ARIEL, promovat de A. Bădescu.

Perioada anilor 1976—1980 găsește institutul, cu un număr important de investiții realizate,

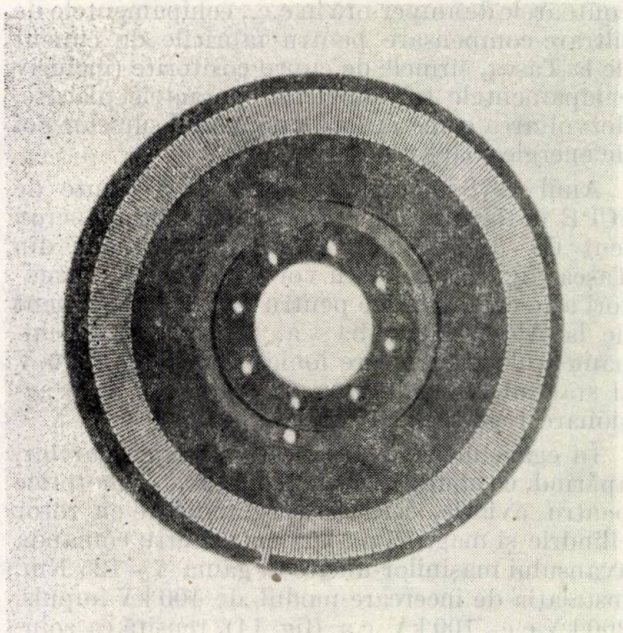


Fig. 10. Traductor inductiv de poziție tip inductosyn circular cu 100 poli.

reprezentînd noi laboratoare și dotări, a căror valoare depășea de două ori tot ce realizase ICPE în celelalte patru cincinale. În figura 11, este prezentat laboratorul de tensiuni înalte.

Anii 1976—1977 au cîteva „nave amiral", care prin performanță erau similare unor alte prestigioase realizări menționate în literatura de specialitate. Este vorba de primul convertizor static de frecvență pentru locomotiva LDH-2400,

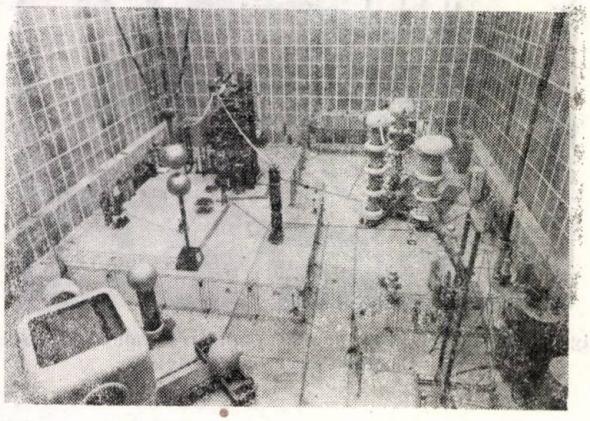
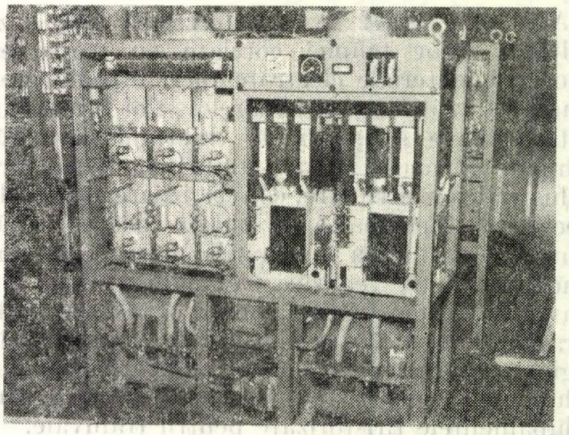


Fig. 11. Laboratorul de înaltă tensiune al ICPE, cu generator de impuls de 3 MV, cascadă de frecvențe industriale de 1,6 MV, 1,2 MV, c.c.

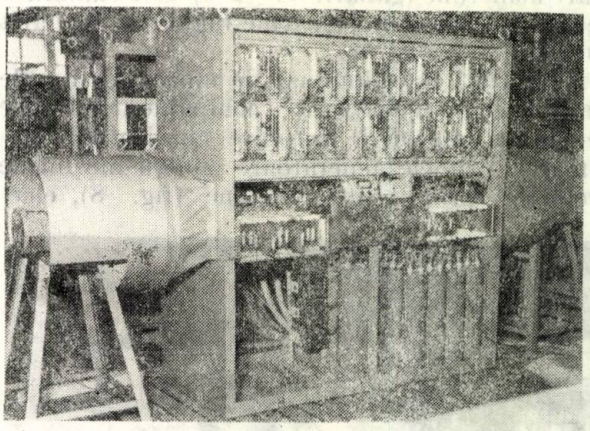
export RDG (fig. 12a—12b), convertizorul de 500 kVA, realizat pentru prima oară în țară la „Electrotehnica", urmează echipamentele electrice de foraj F-200 EC, alimentate de la rețea, generatoarele de impuls pentru mașini de electroeroziune, instalații de acționare cu viteză variabilă a pompelor duplex pentru alumină, seria de separatoare electrostatice și electromagnetice. Se menționează, ca prime realizări, contoarele de amper-oră în c.c., echipamentele de filtrare-compensare pentru fabricile de ciment de la Tașca, sîrmele de cupru cositorite (inclusiv echipamentele tehnologice), contactele placate, dezvoltarea cercetărilor în domeniul surselor noi de energie soare-vînt.

Anul 1978 adaugă rezultatelor obținute de ICPE în timp, prima acționare cu motor sincron lent de 5,5 MW la Fabrica de ciment din Tașca (fig. 13), căreia îi vor urma în anii următori alte echipamente pentru fabricile de ciment de la Aleșd, Medgidia ș.a. Se realizează echipamentul de nitrurare ionică 150 kW, 1 500 V și standul de echilibrare turborotoare cu o acționare reglată de 1 MW.

În egală măsură, 1978 este anul motoarelor, apărînd, ca noutăți, selsine, componente motorice pentru aviație, seria de servomotoare cu rotor cilindric și magneți permanenți pentru comanda avansului mașinilor-unelte în gama 7—125 Nm, instalația de încercare-modul de 400 kV impuls, 200 kV c.c., 100 kV c.a. (fig. 14), reușită ca soluție și cu multe elemente de originalitate, ca și echipamentele medicale.



a)



b)

Fig. 12. Convertizor static de frecvență de 500 kVA pentru locomotive de 2 400 CP, export RDG : a — partea de forță ; b — partea de comandă.

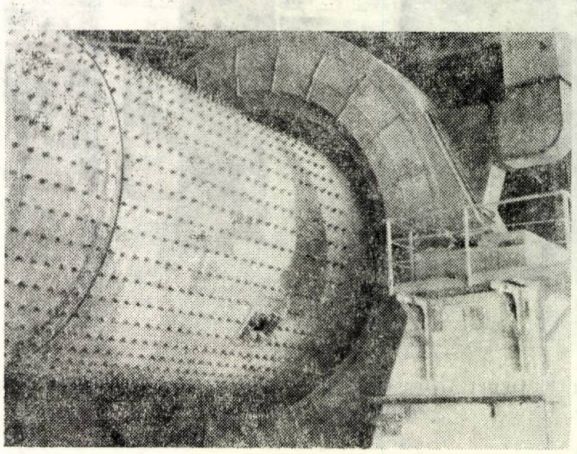


Fig. 13. Acționare sincronă lentă de 5,5 MW cu motor inelar, pentru acționări la morile de ciment la Tașca, Aleșd, Medgidia.

Anul 1979 este dominat de echipamentele electrice de acționare pentru cea de a doua platformă de foraj marin (fig. 15), echipamentele de tracțiune pentru troleibuzul DAC 111 ET, echipamentul de acționare cu motor sincron lent de 4 MW pentru mori autogene

(Moldova Nouă). Soluțiile adoptate se disting prin numeroase elemente de originalitate, brevetate de institut.

Succese se obțin și în domeniul asimilării de materiale electrotehnice : hîrtii și cartoane elec-

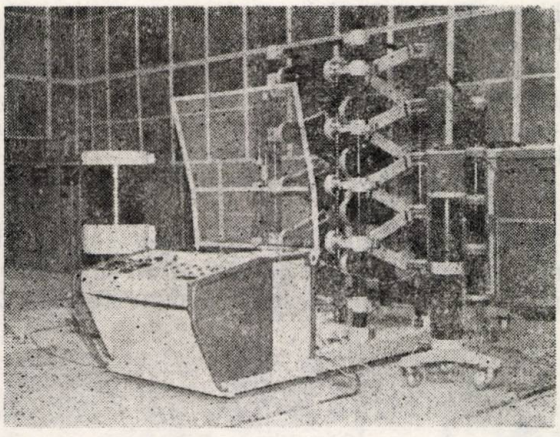


Fig. 14. Instalație-modul de 400 kV impuls, 200 kV c.c., 200 kV c.a., realizată în ICPE.

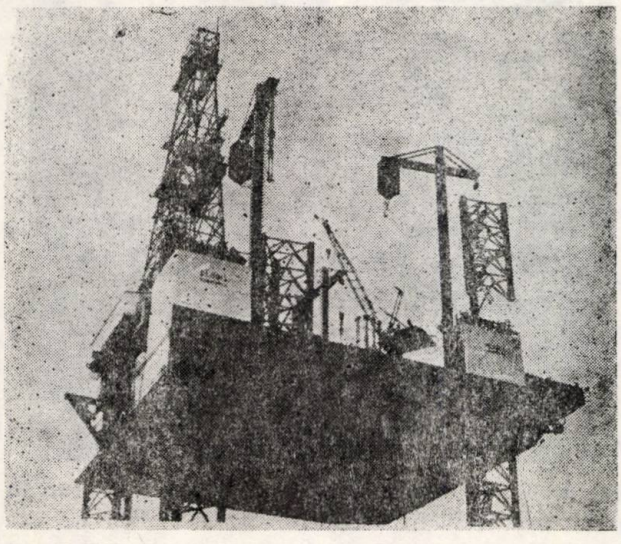


Fig. 15. Una din platformele de foraj marin, cu echipamente electrice de acționare dezvoltate de ICPE.

trotehnice, lacul de impregnare 5 531 Ez, pulberi electroizolante, materiale consumabile pentru mașini de copiat, diverse ceramici, magneți și contacte. Se realizează primele grupuri electrogene de 4 și 8 kVA, giromotoare, frîne cu curenți turbionari, electrofiltre pentru particule submicronice, condensatoare de mare energie, cabluri speciale, protecția anticorozivă a platformei de foraj marin. Din cercetările cu caracter fundamental se dezvoltă primele experimente în domeniul detectării cîmpului gravitațional și realizarea primelor echipamente. Sînt introduse în fabricație echipamente pentru extragerea materialelor feromagnetice din încărcături tehnologice cu lățimile 1 200 și 1 600 mm, destinate combinatelor miniere (fig. 16). Se pune în funcțiune metroul bucureștean, la care ICPE și-a adus o reală contribuție (fig. 17) și se introduce în sistem prima stație electrică de 110 kV în SF_6 (fig. 18), realizată de specialiștii de la „Electroputere"—Craiova.

Anul 1980 îmbogățește seria de realizări a ICPE cu noi motoare de cuplu, servomotoare

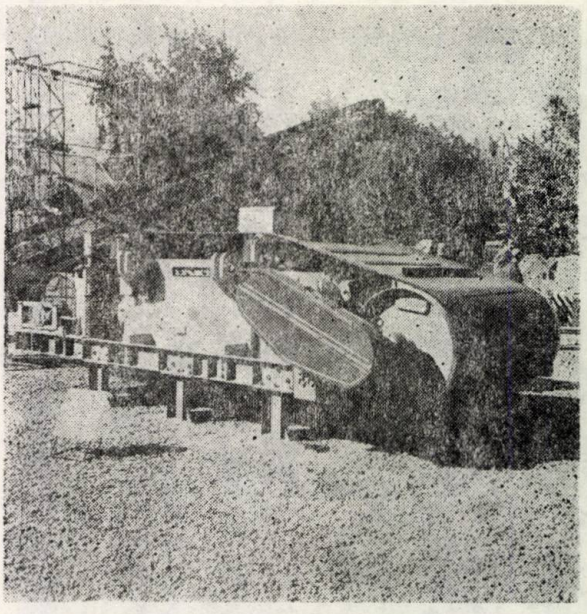


Fig. 16. Seria de echipamente pentru extragerea materialelor feromagnetice din încărcături tehnologice pentru industria minieră.

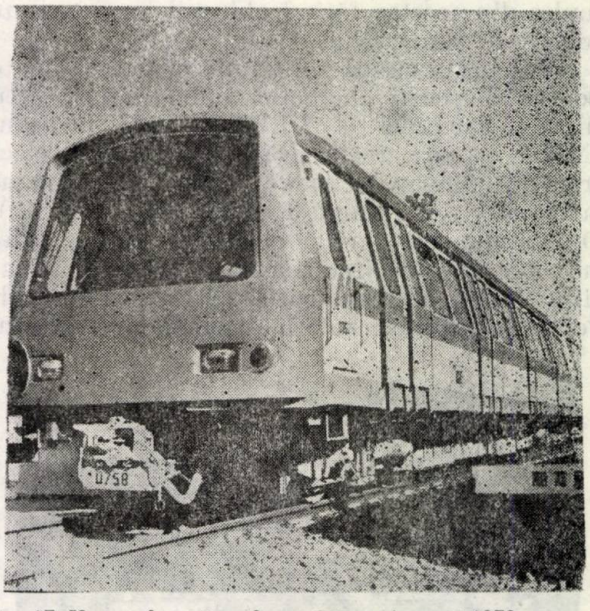


Fig. 17. Vagon de metrou bucureștean în anul 1979.

pentru roboți, micromotoare de c.c., sisteme de comandă pentru mașini de cusut industriale, traductoarele rotative de poziție tip inductiv TRIP-1 ; s-au realizat instalațiile de compensare și filtrare armonici de la Cîmpia Turzii, IMGB, CS-Hunedoara, primul pilot de iradiere la ICPE, instalația de benzi de fretare, primele

sesizoare fără contact, executate de filiala ICPE-Iași, produsele anticorozive pentru rulmenți, primele panouri de comandă pentru instalații de biogaz (grupuri electrogene de 25—50 kVA).

Cincinalul 1981 — 1985 reprezintă etapa cea mai bogată în realizări a institutului, cele mai

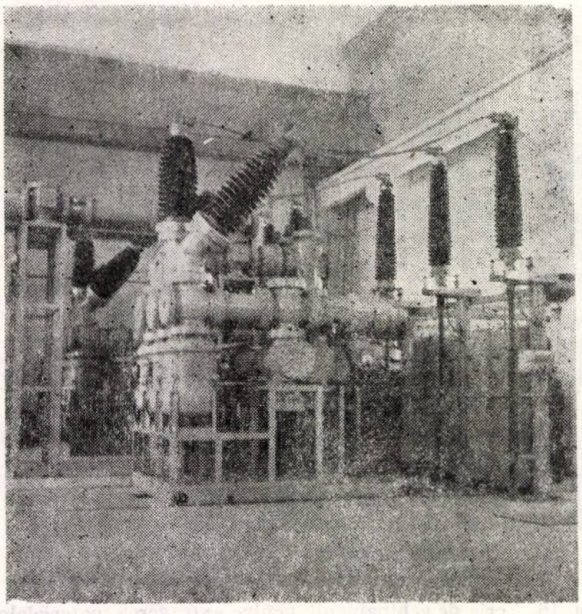


Fig. 18. Stația de distribuție în SF_6 la 110 kV.

multe din acestea făcînd obiectul unor brevete românești sau străine.

Anul 1981 adaugă noi familii de echipamente pentru dispeceri energetici industriali, pentru filtrare armonici la LBR-2 Galați, Beclean, IMGB; se mai realizează echipamentele electrice de acționare cu convertizoare pentru instalațiile electrice de foraj F-100 și F-125 (fig. 19). Din familia motoarelor electrice, cele cu frînă cu rotor în scurtcircuit și dublă acțiune (gabarit 63—160), servomotoarele cu histerezis, rezolverele, reprezintă soluții originale însușite cu

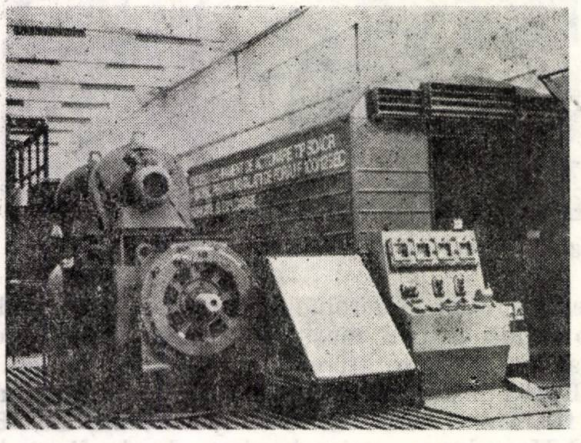


Fig. 19. Echipament de acționare pentru instalații de foraj comandate electric, tip SDACR, tip F100 și F 125.

mare rapiditate de industrie. Se realizează primele cabluri multifilare pentru prospecțiuni seismice cu 14, 26, 42 și 75 perechi, lacuri electroizolante fără crezoli (clasa F și H), încep cercetările în domeniul rezistențelor neliniare pe bază de oxid de Zn, primele surse pentru echipamentele de debavurare; se realizează o serie de instalații solaro-eoliene de producere a căldurii și electricității, se dezvoltă primele circuite flexibile, se introduce la ICM—Reșița o instalație de recuperare a energiei de la motoarele termice în energie electrică.

Anul 1982 concentrează un „sumum" de realizări de prim rang.

În domeniul motoarelor electrice se dezvoltă servomotoarele de c.c. cu rotor-disc și magneți-ceramici, motoare de c.c. pentru tehnica de

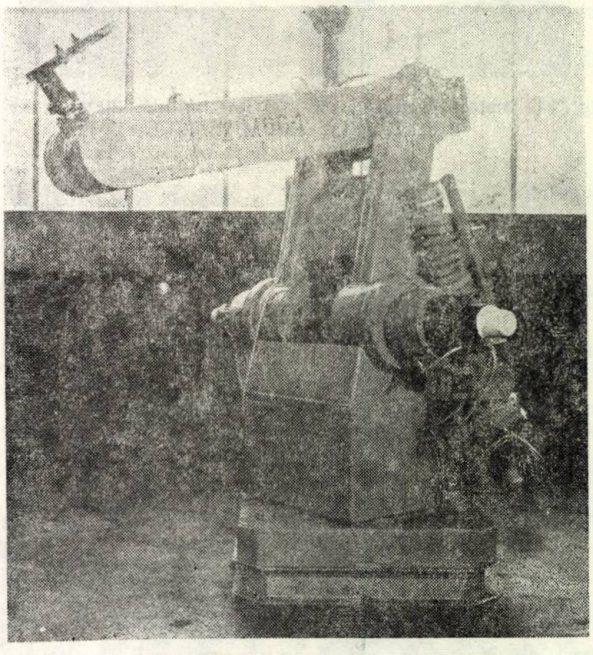


Fig. 20. Roboți zinc-60-01 produși în RDG și echipați cu motoare SRD 1 000 produse în România.

calcul (SEP), servomotare cu rotor cilindric cu cupluri sub 10 Nm, tahogeneratoare cu rotor-pahar, primele blocuri giroscopice. Se livrează primele motoare cu rotor-disc pentru roboții RDG, ZIM-1 (fig. 20).

Materialele electrotehnice, reprezentate de benzile de fretare în clasa F, izolațiile combinate clasa F, înlocuitoarele de nomex, magneți pe bază de pămînturi rare, Ticonal 750, revelatorii fluorescenți, sîrmele de cupru galvanizate, inelele carbonice cu etanșare, dau posibilitatea de realizare a unor motoare și echipamente, tehnologii de control de înaltă calitate.

Din rîndul echipamentelor se desprind instalațiile de recuperare a energiei la încercarea motoarelor termice (cu cîțiva ani în urmă o instalație fusese montată la CM-Reșița și funcționează și astăzi), sistemele electronice de co-

mandă a tramvaielor, mașina electrostatică MEC-2 cu hîrtie fotosensibilă, generatoarele de înaltă frecvență pentru vidare și gheterizare într-o linie de cinescoape, convertizoarele statice de frecvență trifazate pentru locomotivele LDE și LE, echipamentul electric pentru locomotiva cu tiristoare Co-Co de 5 100 kW (fig. 21) primele cuptoare cu microunde și automatele cu

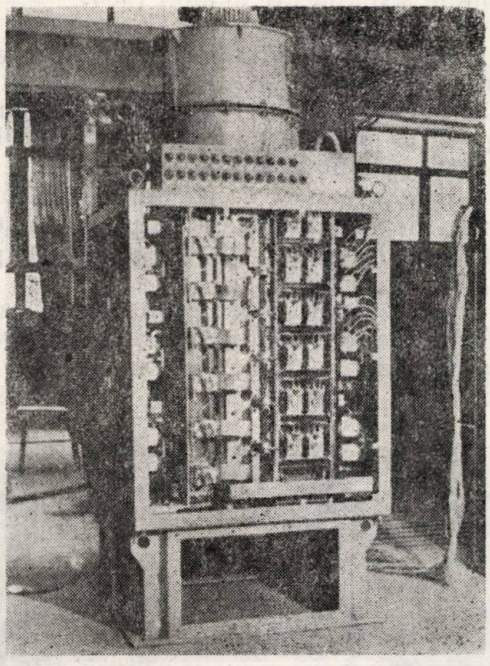


Fig. 21. Echipament electric pentru locomotive cu tiristoare Co-Co de 5 100 kW.

monedă, seria de condensatoare speciale pentru locomotive și laseri, pentru medie frecvență 500—800 Hz, echipamentele de compensare a factorului de putere și armonicilor de la IL-Deva, Ciment-Tașca, laminorul de țevi-Zalău, siguranțele cu expulzie și limitatoare de cuarț de 7,2 — 42 kW, instalațiile industriale de produs ozon, echipamentul de tracțiune electronic pentru troleibuzul DAC-111, export Columbia (fig. 22).

Anul 1983 este dominat de punerea în funcțiune a unor obiective importante : morile de minereu de la Moldova Nouă, cele de ciment

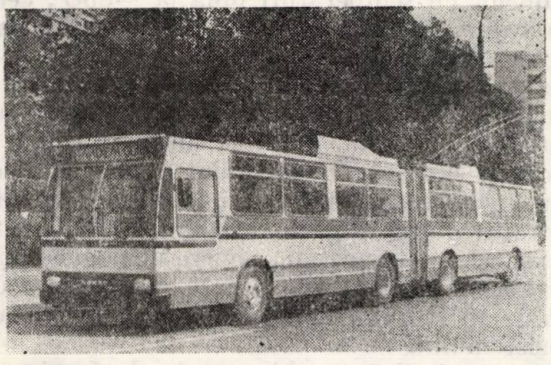


Fig. 22. Troleibuz cu echipament electronic realizat de ICPE și „Autobuzul", pentru export Columbia.

de la Aleșd și Medgidia. Se realizează prima acționare de putere pentru o locomotivă cu motor asincron. În domeniul micromașinilor se lansează puternic, printr-o largă diversificare familia de motoare pentru roboți, micromașini de c.c. pentru aviație, rezolvere și servosistemul cu rezolver decapolar, alte tipuri de motoare electrice ; o nouă soluție originală este reprezentată și de motoarele pentru turbinele de vînt, realizate la turații foarte joase. Se pun în acest an bazele programului de energii neconvenționale de la Agigea-Marea Neagră cu posibilitate de a obține energie termică, electrică, hidrogen, desalinizare apă de mare, diverse biotehnologii. Filiala de la Iași dezvoltă noi serii de traductoare inductive și capacitive, filtre electrostatice, aparatură de măsură și control. Noi tipuri de aparate electrice și echipamente se realizează pentru minerit și metalurgie.

Informatica este prezentă în activitatea colectivelor prin proiectarea asistată de calculator, realizîndu-se în acest an programele de desenare automată a matrițelor, a centralelor telefonice, programe pentru sisteme distribuite de control, proiectarea motoarelor electrice.

Noi tehnologii de control sînt puse la punct în domeniul materialelor de contact, metalice, izolanți organici, defectoscopie magnetică, protecția climatică. Se pun bazele unei noi activități, aceea legată de atestarea calității echipamentelor pentru centrale nucleare.

Începe concepția și proiectarea primelor echipamente nucleare și se dezvoltă construcția de standuri destinate verificării acestor echipamente la acțiunea hidrogenului sulfurat, îmbătrînirii prin radiații etc. Se pun în funcțiune instalația de redresare de 20 kA, 270 V pentru electroliza clorurii de sodiu, primul redresor de 100 kA, 300 V, pentru Intreprinderea de materiale cărbunoase Slatina (fig. 23). Trece la IPRS-Băneasa sistemul de comandă pe grilă CSR-F-01, cu largi aplicații în automatizări și se dezvoltă sistemele de poziționare a electrozilor în cuptoarele cu arc. În domeniul materialelor, demne de menționat sînt rezultatele obținute pe linia dezvoltării de noi izolații în clasă F. Este pusă în funcțiune prima instalație de uscare nutrețuri la Sabaru (fig. 24), echipată cu captatoare cilindric-parabolice și a cărei eficiență a fost dovedită ; o stație în zona montană a fost instalată la Voineasa.

Anul 1984 este dominat de realizarea liniilor de redresoare de la fabricile de materiale cărbunoase Slatina și Titu, redresoare pînă la 200 kA, cu reglaj continuu, ceea ce a permis asigurarea unor regimuri tehnologice capabile de a asigura calități ridicate pentru electrozii fabricați. Ajunge la maturitate fabricația de inductosine talie îngustă și se introduce în fabricație sistemul TRMC pentru poziționarea sistemelor ce echipează mașinile-unelte. Traductoarele inductive circulare tip centapolar, realizate la

nivelul actual al tehnicii mondiale își lărgesc aria de aplicații la multe familii de mașini-unelte.

Noi tipuri de siguranțe ultrarapide de diverse gabarite se asimilează la IAEI-Titu și Intreprinderea de izolatoare Tg. Secuiesc, asigurîn-

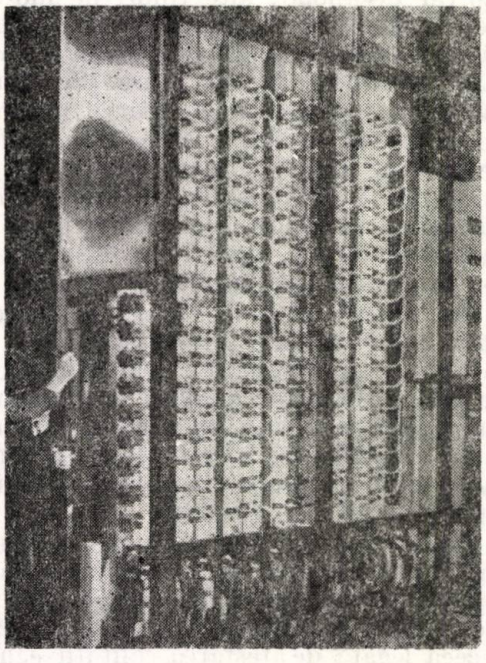


Fig. 23. Modul de 50 kA al redresorului de 200 kA, 300 V pentru cuptoare de grafitizare de la ICE Slatina.

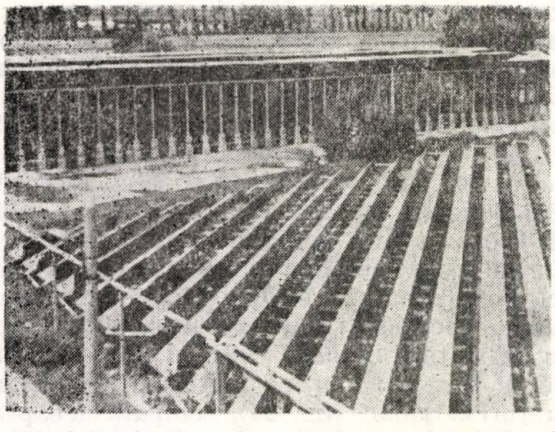


Fig. 24. Instalație de uscare nutrețuri cu energie termică, solară, la FNC Sabaru, 3 000 m², concentratoare cilindrico-parabolice.

du-se cea mai mare parte a necesarului economiei naționale. Se realizează primele condensatoare pentru electronica de putere, condensatoare de medie frecvență în diverse variante constructive.

La filiala din Tg. Mureș se realizează echipamente industriale pentru reglajul electrozilor din cuptoare, sisteme care permit o reducere a consumului de energie pe tona de oțel elaborat de la 750—800 kWh/tonă la circa 550 kWh/tonă, rezultat remarcabil, care se va aplica la toate sistemele de acest tip existente în țară.

Filiala din Iași realizează noi traductoare de nivel, traductoare de dorn rupt pentru metalurgie, noi familii de filtre, traductoare bazate pe aplicații ale ultrasunetelor. Primele manipulatoare destinate industriei ieșene sînt puse în funcțiune experimental pe standurile institutului, urmînd a fi aplicate în anul 1985.

Filiala din Bistrița realizează standuri moderne de control a parametrilor surselor electrochimice, dezvoltă cercetări ingenioase în domeniul aplicării ozonului în industria alimentară, pune la punct o nouă tehnologie de brazare pentru schimbătoare de căldură.

Se realizează partea de comandă electrică a instalației de tras monocristal de siliciu, Czochralski și se dezvoltă noi tipuri de cabluri pentru petrol și geologie.

Noi tipuri de motoare cu rotor-disc se asimilează în fabricație la IFMA, SRD-1 000, SRD-350 pentru echiparea roboților, tahogeneratoare speciale, motoare pentru tehnica de calcul, micro-

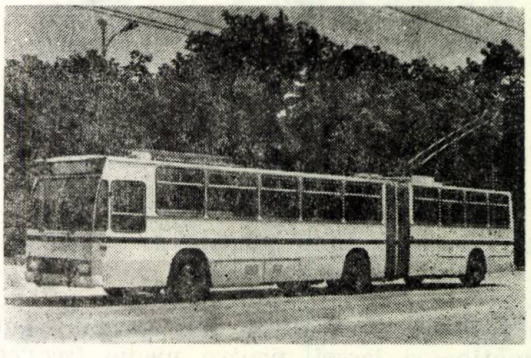


Fig. 25. Troleibuz de mare capacitate cu chopper și recuperare de energie la frînare.

mașini speciale de c.c., motoare cu frînă inclusă, motoare fără perii, rezolvere speciale etc.

Defectoscoape magnetice se asimilează la IC-Buzău, după concepția ICPE, iar noi tipuri de neutralizatoare electrostatice se dezvoltă pentru industria ușoară.

Se finalizează lucrările de omologare a instalațiilor de foraj F-125, destinate, printre altele, și zonelor cu temperaturi pînă la —30C°, ceea ce a impus găsirea unor noi soluții constructive pentru blocuri și componente.

În sfîrșit, anul 1985, anul de închidere a actualului cincinal va pune în evidență noi realizări de prestigiu ale institutului. După o concepție unitară, în domeniul acționării electrice cu chopper, se vor asimila noi echipamente de tramvai (fig. 25), de troleibuze (DAC 112, 117) și cel mai important, pentru noua generație de vagoane de metrou, la care recuperarea de energie va fi unul din principalele puncte tari ale sistemului.

Se vor asimila noi echipamente de foraj geologic, acționate cu motoare de c.a., echipamente

tiristorizate pentru comanda locomotivelor electrice, sisteme de acţionare a locomotivelor cu cuptoare de c.a. Pentru locomotiva de 1 100 CP a întreprinderii „23 August", se realizează un nou invertor de putere. Se finalizează echipamentele electrice pentru echipamentele platformelor de foraj marin 5 şi 6 (celelalte, Orizont, Gloria, Prometeu, Fortuna fiind realizate în anii trecuţi).

În domeniul motoarelor se va asimila motorul electric pentru pompele de extracţie petrol, micromaşini speciale pentru roboţi, pentru microsisteme de comandă, transfocatoare, electrobroşe, tahogeneratoare speciale, motoare cu mai multe viteze, micromaşini cu frînă înglobată, motoare electrice de mică turaţie pentru echipamente eoliene, motoare cu rotor-pahar, o diversificare a motoarelor pas cu pas şi a motoarelor de c.c. pentru alimentarea instalaţiilor de pulverizare insecticide.

Se asimilează transformatoarele de sudură înglobate în răşini (pentru liniile de sudură de la OLTCIT şi Colibaşi), se realizează seria de echipamente electrice de debavurare electrochimică, destinată industriei de autovehicule.

Se va pune în funcţiune obiectivul de la Chituc, echipat cu separatoare electrostatice şi electromagnetice realizate de ICPE şi asimilate de IEP-Craiova.

În domeniul surselor noi de energie se continuă instalarea de echipamente pentru conversia energiei solare în căldură la Agigea, Ograda, Fabrica de tutun Urziceni, la alte obiective din judeţul Dolj. Se vor omologa echipamentele eoliene de 200—400 W, cel de 1—3 kW şi turbine de 30 kW, după soluţii originale date de specialiştii ICPE, va intra în fabricaţie turbina de 100 kW.

Se realizează o linie tehnologică pentru nichelarea sîrmelor de cupru, se dezvoltă, după concepţia ICPE, prin transfer de tehnologii, o nouă capacitate de fabricaţie perii la Fabrica de ferite Urziceni. Se omologhează aparatura de detecţie a nivelului de poluare pentru oxizi ai azotului, sulfului, hidrogenului sulfurat, aparate de înaltă puritate, ca şi primele traductoare de vibraţie şi acceleraţie, cu largi perspective în domeniul aplicării pe maşini-unelte, pe echipamente cu grad înalt de vibraţie. Se realizează primele mărci tensometrice, circuite hibride de putere, destinate comenzii unor echipamente de curenţi tari. În domeniul proiectării automate se evidenţiază o serie de rezultate de valoare pe linia proiectării de motoare şi scheme de acţionare.

Se pun în funcţiune noile linii tehnologice de producţie toner şi developer, extruderele pentru cablurile de teflon, echipamentele pentru producerea polietilenei reticulate, linia de cuptoare de sinterizare pentru materiale metalice (miezuri de relee şi transformatoare). Se vor realiza noi ceramici zirconifere, ceramici piezo, cu oxid de zinc, contacte cu conţinut redus de metal preţios, materiale metalice de control cu mare densitate, treceri metal-sticlă, contactoare în vid, dispecerii energetici de laBraşov,standurile de recuperare a energiei termice de la motoarele cu ardere internă din producţia întreprinderii „23 August" — Bucureşti.

3. Elemente esenţiale care au determinat obţinerea acestor rezultate

Sprijinul dat de conducerea de partid şi de stat în dezvoltarea electrotehnicii româneşti în ritmurile cele mai înalte ale construcţiei de maşini, se află la baza rezultatelor obţinute de institut în promovarea progresului tehnic. Se poate remarca, pe bună dreptate, că rezultatele cele mai semnificative ale institutului, avînd un caracter de masă în „generarea industrială de soluţii originale", are loc după cel de al IX-lea Congres al partidului, cînd datorită sprijinului deosebit dat de secretarul general al partidului, tovarăşul Nicolae Ceauşescu, s-a putut realiza o bună bază materială şi un fond valoros de oameni, factori hotărîtori pentru o cercetare modernă, implicată larg în viaţa industrială a ţării.

Directa coordonare a ştiinţei româneşti de către Consiliul Naţional pentru Ştiinţă şi Tehnologie, de preşedintele său, tovarăşa academician dr. ing. Elena Ceauşescu, apropierea sa de industrie prin concepţie şi rezultat al activităţii sale, au făcut ca cercetarea românească — cea electrotehnică în cazul de faţă — să obţină rezultate de valoare, România reuşind o „independeţă" a concepţiei sale, în sensul că a ajuns la maturitatea de a elabora produse, tehnologii, procese, prin forţe proprii, de negîndit ca politică în primii ani ai dezvoltării sale industriale, în care transferul de tehnologie prin achiziţia de licenţe, a fost practicat în economia noastră. Astăzi, cercetarea electrotehnică românească, asigurînd, prin concepţia sa, diverse sectoare ale economiei naţionale, participă larg la schimburile de valori, colaborează la importante programe de cercetare internaţionale, dovedind maturitatea la care s-a ajuns, forţa rezultatelor sale. Cîteva elemente esenţiale în politica dezvoltată de institut în aceşti 35 de ani merită a fi consemnate.

3.1. Creşterea bazei materiale, a dotării sale. Începînd activitatea în anii 1950 — 1952 în cîteva sedii mici, situate în comuna Brăneşti, în str. I. G. Saita şi Bd. Gh. Magheru din Bucureşti, care nu puteau adăposti mai mult de 100—150 de oameni, institutul se dezvoltă timid, dar continuu, acumulînd, cîştigînd an de an spaţii noi, corespunzător şi cu contribuţiile mereu mai consistente aduse economiei naţionale. Anii 1953—1959 înseamnă preluarea de la întreprinderea „Electrofar" şi „Electromagnetica" — Bucureşti a unei mici hale de pro-

ducție care a permis începutul dezvoltării bazei tehnologice de care institutul avea nevoie, pentru ca în anii următori (1959—1962), la suprafețele menționate, să se mai adauge încă 1 900 mp, în care se organizează primele ateliere de prelucrări, bobinaj, ale institutului. ICPE avea nevoie de propria bază experimentală, în care să-și realizeze prototipurile, să-și verifice concepția unor produse de complexitate sporită.

Odată cu anul 1967 se poate spune că începe istoria modernă a ICPE, concomitent cu deschiderea celei de a doua platforme din Splaiul Unirii —313 — microzona Vitan — prin prima investiție alocată pentru „pavilionul de laboratoare" și secțiile de aparate (1968 — 1970). Trebuie arătat că numai acest titlu de investiție era de peste două ori mai mare ca suprafață decît tot ce obținuse institutul în anii anteriori, spațiu necesar amplasării laboratoarelor cu echipamente grele, stația de încercări la înaltă tensiune (3 MV) și generatorul de curenți intenși (200 kA).

Din anii '70 se poate remarca continuitatea cu care s-a urmărit politica de dezvoltare a institutului, neexistînd practic an în care constructorii, ICSIM, TC Ind., TCAZ, să nu fie prezenți în incinta ICPE, realizînd noi spații de lucru.

În 1972 începe investiția destinată Secției de prototipuri, a cărei dotare a permis realizarea unui deziderat mai vechi al oamenilor, o „fabrică" în incinta cercetării.

Nevoia dezvoltării domeniilor de materiale electrotehnice, de acționări de putere, conduce la demararea altor titluri de investiții, finalizate pînă în anul 1977.

În anul 1978, Centrul de calcul, domeniul traductoarelor și servomotoarele cu rotor-disc primesc un nou sediu cu o suprafață adecvată, avînd cameră tehnologică albă, spații adecvate de control, climatizări, specifice unor activități de înaltă finețe.

Dezvoltarea micromașinilor mici necesare tehnicii reglajului automat, servosistemelor, a condus la promovarea, în anul 1980, a unei noi investiții, specifice acestui domeniu. Demnă de remarcat este noua concepție pe care a promovat-o institutul în domeniul construcțiilor, aceea de secție de cercetare-producție integrată, jos fiind plasate utilajele, la etaj laboratoarele de cercetare și proiectare și care va deveni model pentru investițiile viitoare. Tot în acel an se pun în funcțiune secția de SDV-uri și atelierul de galvanizare, completînd activități care lipseau în organizarea pe zi ce trece mai complexă a institutului, a implicării sale tot mai adînci în viața industriei.

Sesizînd importanța pe care o au electrotehnologiile și, în special, influența radiației ionizante asupra materialelor organice — reticulările — și aplicația unor fenomene din electrostatică, se dezvoltă o nouă capacitate care va permite realizarea defectoscoapelor, tuburilor termocontractabile, mașinilor de copiat, separatoarelor electrostatice și electromagnetice. Un spațiu cu aceeași destinație, de cercetare-dezvoltare, adăpostește un generator Van der Graaff de mare putere, realizat de institut, și liniile tehnologice pe care le deservește, alte laboratoare electrostatice specializate.

Anul 1984 consemnează punerea în funcțiune a celei mai mari investiții realizată pînă la această dată, destinată domeniilor de izolanți organici, calității produselor, laboratoarelor de testări pentru medii normale și climate diferite, laboratoarelor tehnologice specifice, inclusiv de electronică de putere și al componentelor din microelectronică specifice curenților tari, laboratoarelor destinate realizării de celule fotovoltaice pe bază de Si monocristal și, în următorii ani, amorf.

În sfîrșit anul 1985 va consemna punerea în funcțiune a secțiilor de filtre și condensatoare, răspunzînd unor stringente necesități ale economiei naționale de a asigura condensatoare speciale pentru electronica de putere, condensatoare pentru laseri și medie frecvență, filtre pentru compensarea armonicilor și energiei deformante la marii consumatori industriali, după soluții proprii.

În același timp, anul 1985 consemnează odată cu dezvoltarea în România a producției de echipamente electrice pentru centrale nuclearo-electrice, necesitatea de a dispune de standuri specializate de încercări pentru verificarea comportării lor la radiații, seism și LOCA, de unde necesitatea dezvoltării unor noi capacități specializate de simulare a condițiilor nucleare.

Toate aceste obiective menționate și reprezentate în figura 26, se încadrează organic într-o concepție care permite abordarea complexă a oricărui program din domeniul electrotehnicii.

Cum dotarea este elementul esențial ce contribuie la obținerea unor soluții, an de an institutul și-a crescut zestrea tehnică, în cea mai mare parte prin autodotare, evoluția sa cea mai spectaculoasă fiind în ultimele cincinale, așa cum reiese și din figura 27. Demn de subliniat este faptul că de la cincinal la cincinal, baza materială aproape s-a dublat, cu excepția ultimelor cincinale, cînd creșterea a fost și mai spectaculosă.

3.2. Fondul de oameni. ICPE a reprezentat o școală de cadre, formate în spiritul unui profund patriotism, în care profesionalitatea a stat pregnant alături de responsabilitatea exigentă față de rezultatul solicitat, de rolul pe care trebuie să-l aibă știința ca forță de producție.

Trebuie remarcat faptul că ICPE a promovat în mod susținut necesitatea unei cercetări multidisciplinare, singura capabilă să dea o rezolvare completă pentru o problemă complexă. S-a promovat curajos concepția că doar din teme grele se poate obține progres, că și din

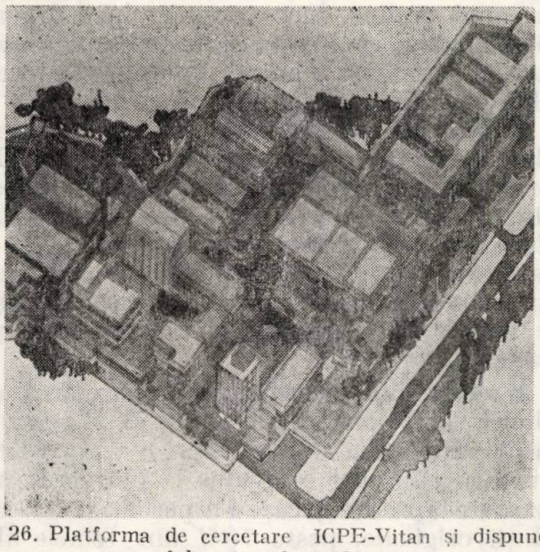


Fig. 26. Platforma de cercetare ICPE-Vitan şi dispunerea laboratoarelor sale.

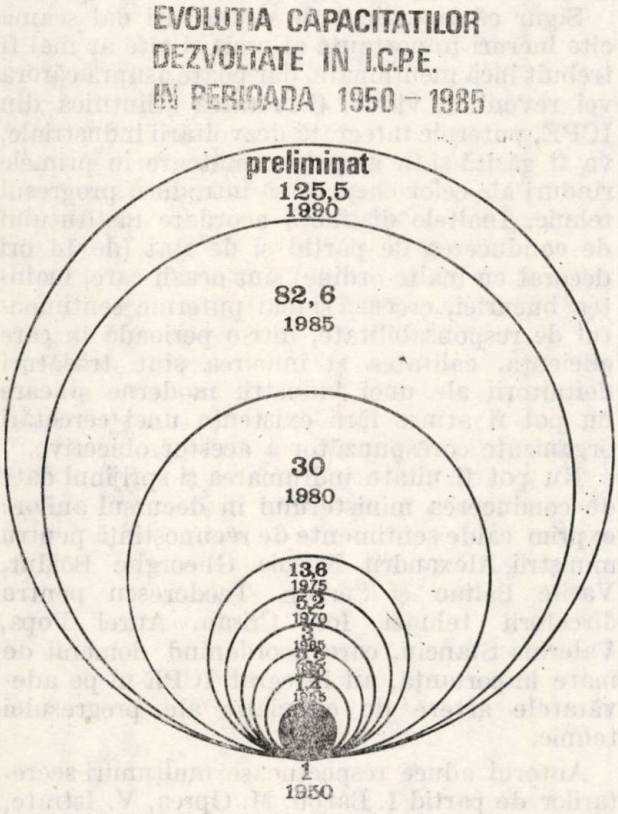


Fig. 27. Evoluţia capacităţilor dezvoltate de ICPE în perioada 1950—1985.

nereuşite se pot, în mod înţelept, trage concluzii la fel de valoroase ca şi dintr-un succes.

S-a înţeles din timp că cercetarea de material nu poate fi ruptă de cea de produs, de cea tehnologică, sau de proiectare, utilizînd calculatorul, de design sau de verificarea nivelului de calitate. De unde, în mod firesc, şi existenţa unor specialităţi variate, aşa cum rezultă şi din figura 28.

Faptul că, deşi ICPE este un institut cu profil electric, electricienii reprezintă doar 52 % din personalul cu studii superioare (electrotehnicieni 32 %, electronişti 16 %, energeticieni 4 %) şi există ponderi însemnate de: chimişti (11,7 %),fizicieni (6,38 %,) ingineri mecanici (11 %), alte

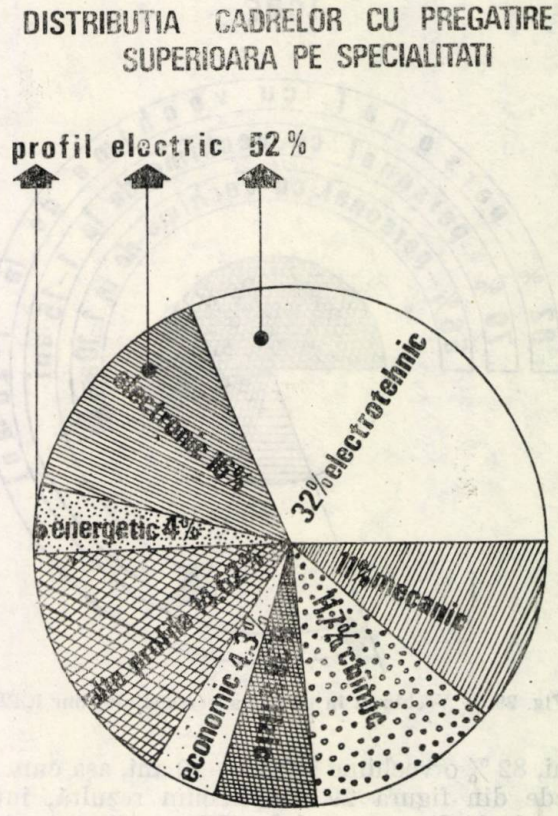


Fig. 28. Distribuţia cadrelor cu pregătire superioară pe specialităţi.

specialităţi, dovedeşte şi explică de ce s-au putut obţine rezultate ca cele menţionate în capitolul 3.

În privinţa numărului de cadre, acesta a crescut corespunzător cu dezvoltarea bazei materiale şi a tematicilor încredinţate spre rezolvare, ICPE devenind un institut puternic, cu o structură corespunzătoare între personalul cu studii superioare şi cel mediu. Există un număr de peste 130 doctori şi doctoranzi, cadre didactice asociate care predau în învăţămîntul superior, o legătură deosebit de strînsă atît cu alte institute de profil, sau din reţeaua de învăţămînt superior cît şi din ţară şi străinătate.

Cursuri serale ale învăţămîntului superior sînt urmate de un număr însemnat de tehnicieni, muncitori, laboranţi, în special la discipline cu profil electric, mecanic şi chimie; deja din rîndurile acestui personal, în ICPE activează astăzi cu succes mai mult de 77 ingineri şi subingineri. Există creată o atmosferă de adevărată emulaţie, de stimulare a celor ce vor să înveţe, să se perfecţioneze, un climat care să favorizeze promovarea autenticelor valori.

O atenţie deosebită s-a acordat păstrării „continuităţii" între generaţii. Din totalul de oameni ce lucrează astăzi în institut, 56 % au o vechime sub 10 ani, 70 % o vechime între 1—15

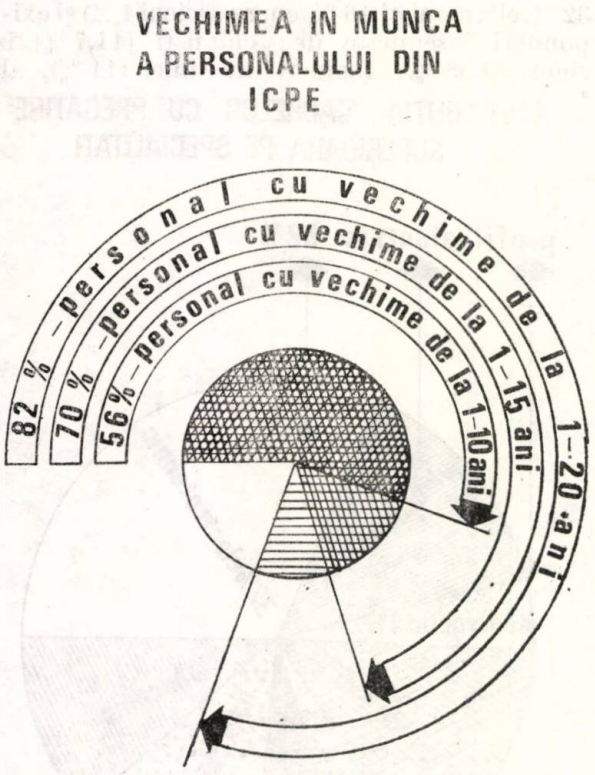


Fig. 29. — Vechimea în muncă a personalului din ICPE.

ani, 82 % o vechime între 1—20 ani, așa cum se vede din figura 29. După cum rezultă, între 70—82 % din personalul ICPE, va fi găsit și în anul 2 000 în ICPE.

3.3. Concepția abordată de ICPE în tratarea problemelor. Există o serie de adevăruri ce se desprind din scurta „eșalonare" în timp a rezultatelor și a condițiilor în care s-au obținut aceste rezultate, ceea ce dovedește că institutul și-a stabilit întotdeauna o strategie pe termen lung în cadrul căreia a tratat cu aceeași atenție problemele de etapă, realist integrate față de ținta finală propusă, de promovare a progresului tehnic, de a reuși să îmbine în mod corect ceea ce s-a cerut întotdeauna cercetării românești, de a păstra un echilibru dinamic între prezent și viitor. Cîteva concluzii, acum la sfîrșit de drum, merită a fi menționate:

- tematicile abordate de institut, și de multe ori și rezultatele, au fost și sînt comparabile cu acelea ale altor colective de cercetare din străinătate;
- a existat întotdeauna preocuparea de a realiza odată cu produsul și tehnologia, acest lucru remarcîndu-se în întreaga activitate a institutului, s-au sesizat, de cele mai multe ori, direcțiile importante care justifică o abordare și concentrare de forțe;
- legăturile institutului cu fabricile nu au fost ceva formal, ceva de conveniență, ci chiar o condiție a existenței cercetării; că aceasta a reieșit firesc din dorința de valorificare a rezultatului și a sprijinului ce trebuie dat la asimilarea unui produs, lucru dovedit încă din anul 1950, an de la care se constată un număr important de „asistențe tehnice", acordate de institut fabricilor care se formau odată cu acesta;
- dacă o bună perioadă de timp „fisiunea" laboratoarelor a fost un fapt frecvent întîlnit, consecință a dezvoltării, ultimii ani dovedesc o altă trăsătură, aceea de „compactizare", de „fuziune" a lor pentru a da unități cu o mai mare capacitate de a dezvolta o explozie tehnologică, lucru care nu se poate face decît depășind un număr critic de oameni afectați unui program;
- receptivitatea institutului la grefarea unor tehnici noi pe structurile existente și păstrarea unei ținute a tematicilor a fost o altă trăsătură a institutului care a condus la obținerea unor rezultate apreciate, care i-a permis să găsească soluții originale, peste 70 % din temele abordate de institut fiind acoperite de un patent.

Sigur că la „sfîrșit de drum" îți dai seama cîte lucruri importante ai omis și cîte ar mai fi trebuit încă menționate, dar poate asupra cărora vei reveni în viitor. Cercetarea științifică din ICPE, puternic integrată dezvoltării industriale, va fi găsită și în etapele următoare în primele rînduri ale celor chemați să introducă progresul tehnic. Înaltele distincții acordate institutului de conducerea de partid și de stat (de 14 ori decorat cu înalte ordine) sînt ocazii care, înaintea bucuriei, creează și mai puternic sentimentul de responsabilitate, într-o perioadă în care eficiența, calitatea și înnoirea sînt trăsături definitorii ale unei industrii moderne și care nu pot fi atinse fără existența unei cercetări organizate corespunzător a acestor obiective.

Nu pot fi uitate îndrumarea și sprijinul date de conducerea ministerului în decursul anilor: exprim calde sentimente de recunoștință pentru miniștrii Alexandru Necula, Gheorghe Boldur, Vasile Baltac și Șerban Teodorescu pentru directorii tehnici Ion Crișan, Aurel Popa, Valerius Stanciu, care coordonînd domenii de mare importanță, au integrat ICPE-ul pe adevăratele artere de circulație ale progresului tehnic.

Autorul aduce respectuoase mulțumiri secretarilor de partid I. Barbu, M. Oprea, V. Istrate, directorilor adjuncți I. Vasilache, Ch Popescu, V. Ciofu, C. Apetrei, C. T. Bârcă tuturor acelora care în decursul anilor, fie din „interiorul" lui, fie din „afară", și-au adus contribuția la crearea acestui puternic colectiv de cercetare, rod al politicii înțelepte de încurajare a cercetării autohtone, pe care secretarul general al partidului, tovarășul Nicolae Ceaușescu a promovat-o cu atîta consecvență, al sprijinului direct pe care președintele Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie, tovarășa academician dr. ing. Elena Ceaușescu, l-a dat cu atîta atenție, implicării sale profunde în viața industriei noastre.

CZ 621.313.2

MAŞINI ELECTRICE

Din realizările ICPE în domeniul maşinilor electrice

CONSTANTIN APETREI, ELEK DEMETER, REMY HERESCU, MIHAI OPREA, SIGISMUND ŞLAIHER

35 de ani de existenţă a ICPE au însemnat un interval de timp în care şi maşinile electrice, domeniu cu mare pondere economică în electrotehnică, au cunoscut o evoluţie ascendentă, marcată pregnant de politica şi realizările de ansamblu ale institutului. Se prezintă sintetic realizările şi perspectivele existente, punînd în evidenţă corelaţia strînsă care a existat între dezvoltarea de ansamblu a ICPE şi dezvoltarea unui domeniu particular. Aceasta a fost şi va fi posibilă datorită abordării complexe în cadrul aceleiaşi unităţi a problemelor de materiale specifice, de tehnologii, inclusiv cele neconvenţionale, de folosire largă a tehnicilor noi de proiectare cuprinzînd utilizarea calculatoarelor electronice, a subordonării tematicii programelor prioritare din diferitele ramuri ale industriei noastre.

În faza de început a activităţii institutului, cu posibilităţi materiale şi cadre de specialitate reduse, domeniul de maşini electrice, în special cel de motoare electrice, a fost abordat, în primul rînd, prin lucrări şi, în unele cazuri, prin asistenţă tehnică acordată de specialişti de înaltă calificare industriei româneşti care se dezvoltă vertiginos.

Anii 1950, 1965, timp în care colective restrînse de specialişti au activat nemijlocit în acest domeniu, se pot caracteriza prin realizările datorate prezenţei institutului la elaborarea unor tehnologii privind climatizarea produselor, dintre primele pe care industria română le-a furnizat şi exportat în ţări cu regim de climă tropicală, fiind echipamentul electric de acţionare ce foloseşte motoare asincrone în execuţie tropicalizată TH, utilizat în centralele construite de ţara noastră în India pentru rafinăria din Gaohati. Tehnologia elaborată împreună cu producătorul din industrie — Intreprinderea de maşini electrice — IMEB şi îmbunătăţită pe parcurs, a permis ca institutul să devină forul specializat în climatizarea produselor pentru întreaga noastră industrie. Trebuie menţionată permanenta prezenţă a specialiştilor din institut, încă din acele timpuri, la certificarea calităţii, şi, prin aceasta, a nivelului tehnic al producţiei de motoare electrice în toate întreprinderile din ţară, prin acordarea dreptului de testare în scopul omologării, atît a prototipurilor industriale cît şi a seriilor zero puse în fabricaţie. Tot în aceşti ani, trebuie menţionată activitatea de cercetare pentru clasificarea şi structurarea sistemelor de izolaţii proprii domeniului, atît pentru motoare de joasă tensiune, cît şi pentru motoare de înaltă tensiune. Caracterizarea sistemelor izolaţiei prin testarea duratei de viaţă, garantată după cele mai recente tehnici de lucru, au permis alegerea unor soluţii constructive, pentru care simpla experienţă de proiectare se dovedeşte a fi insuficientă. Un exemplu de conlucrare eficientă între institut şi industria producătoare poate fi cel al elaborării în cadrul laboratoarelor de specialitate a unor materiale ceramice ca: steatită cu rezilienţă bine determinată, folosită la execuţia bornelor motoarelor electrice în construcţie antigrizutoasă, motoare omologate de organisme din ţări importatoare (URSS), material fără de care exportul acestora ar fi fost imposibil de realizat.

Începuturile sînt desigur legate de investiţii făcute mai ales în utilaje, standuri de probă şi alte dotări specifice, baza materială care le-a condiţionat şi nu putea fi regăsită în industrie. Astfel, se menţionează laboratorul de încercări pentru maşini electrice cu o suprafaţă de circa 300 m^2, conceput pentru a avea o deosebită elasticitate, care să permită investigarea complexă a produselor; laboratorul pentru studiul răcirii şi ventilaţiei motoarelor electrice; laboratorul pentru cercetarea şi caracterizarea materialelor magnetice moi; laboratorul pentru cercetarea schemelor de izolaţie; laboratorul pentru cercetarea zgomotului şi a vibraţiilor; ansamblul de laboratoare pentru climatizarea produselor etc.

Experienţa căpătată de specialiştii din ICPE în conceperea şi dezvoltarea unor asemenea laboratoare a permis apoi acordarea de asistenţă tehnică şi pentru organizarea unor asemenea laboratoare adecvate în cîteva întreprinderi industriale producătoare, cum sînt

laboratoarele pentru cercetarea zgomotului și a vibrațiilor din întreprinderea „Electroprecizia" — Săcele și Intreprinderea de motoare electrice Pitești, ca și cel pentru cercetarea ventilației de la Uzina IAEAME- din orașul Sf. Gheorghe.

Consolidat prin experiența de cercetare științifică căpătată în acest timp de către specialiștii în domeniu, institutul a putut rapid, odată cu trecerea acestuia în regim economic, să răspundă prompt unor solicitări concrete ale industriei dînd, în urma rezultatelor cercetării, soluții unor necesități de ordin tehnic care au depășit, în etapa la care ne referim, posibilitățile beneficiarului.

S-au putut soluționa astfel acționarea cu motoare sincrone a compresoarelor cu cilindri opuși, alimentarea monofazată a unor motoare trifazate pe locomotivele electrice, seria de electrotamburi pentru acționarea benzilor transportoare, din fabricația întreprinderii Unio-Satu Mare etc.

Noua etapă de dezvoltare cuprinsă între anii 1965 — 1975 a permis o evoluție amplă a preocupărilor institutului, atît pentru a pune baze științifice în abordarea unor serii unitare de motoare asincrone, problemă devenită acută și pe plan internațional, cît și pentru extinderea preocupărilor din țara noastră privind noi tipuri de motoare electrice neconvenționale, în special motoare cu inerție foarte redusă și anume construcția cunoscută sub denumirea de motoare cu rotor-disc, solicitată în sistemele de acționare a mașinilor-unelte.

A fost necesar, în primul rînd, să se pună la punct tehnici mai puțin convenționale, neutilizate în industrie, pentru cercetarea aprofundată a performanțelor motoarelor (caracteristici electrice, mecanice, termice etc.).

S-au elaborat tehnici specifice pentru studiul fiabilității motoarelor electrice, concretizînd prin aceasta condiții pentru ca institutul să devină coordonator în domeniu, tehnici ce au fost transferate ulterior în întreprinderi industriale producătoare de motoare electrice-asincrone (IME-Pitești, „Electroprecizia"-Săcele etc.).

Problema pierderilor suplimentare ale mașinilor electrice a fost, de asemenea, clarificată la nivelul cercetării științifice, astfel încît tehnica de încercare adoptată în institut a permis o evaluare intrinsecă a calității unor prototipuri, calitate văzută dincolo de limitele minimale impuse de standardizarea în domeniu.

S-au elaborat standuri de probă sau instalații specializate, pentru a caracteriza regimuri specifice în funcționarea unor mașini : instalația pentru măsurarea cuplurilor parazite, instalația care simulează regimul cel mai sever ce poate fi luat în considerație la funcționarea unor motoare în regim intermitent (motoarele de ascensor), anume cuplul de pornire-treaptă, iar în domeniul motoarelor de curent continuu instalația pentru determinarea prin criterii obiective a poziției de calare a periilor, încît să se obțină comutația optimă în cazul construcției date.

În pregătirea abordării seriilor de motoare asincrone în acești ani s-a elaborat, împreună cu specialiștii în programare, SOFT-ul tehnicii de calcul, metodele specifice de proiectare folosind în primul rînd calculatoare electronice. Rezultatele acestei consolidări atît a bazei materiale, cît și a nivelului de cunoștințe și de experiență al colectivului de specialiști, a permis institutului ca, în acești ani, să realizeze cercetarea-proiectarea unei noi serii de motoare asincrone de uz general, concepută integral odată cu tehnologia de fabricație a acesteia, în colaborare strînsă cu beneficiarul — întreprinderea „Electropecizia"-Săcele,concomitent cu înnoirea seriei aflate în fabricație. Aceasta a condus la importante economii de materiale și manoperă. Într-o concepție deschisă spre tendințele manifestate în acei ani de a mări diametrele exterioare în cadrul fiecărui gabarit, pentru a se face posibilă și eventual aplicabilă o nouă corelare „puteri-dimensiuni de montaj", considerată a fi mai rațională din punct de vedere tehnico-științific, odată cu apariția pe piață a unor materiale magnetice mai noi (tabla electrotehnică cu conținut foarte redus de carbon) seria nouă MA de motoare asincrone trifazate cu rotor în scurtcircuit, de joasă tensiune, de uz general, gabrit 80—132, s-a impus în fabricație, fiind preluată apoi și de noua unitate înființată în orașul Sf. Gheorghe.

Răspunzînd cerințelor economiei naționale de a reduce consumul de materiale, în institut, în colaborare cu IME-Pitești s-au făcut cercetări privind punerea la punct, pe calculatoarele electronice, a tehnicii de calcul specifice construcției motoarelor asincrone cu carcasă de aluminiu, modernizări ale seriei în curs de fabricație astfel încît să se alinieze nivelelor de performanțe energetice acceptate în țară prin standardizare STAS 1764-70.

Urmărind sporirea mentenabilității motoarelor antiexplozive, folosite larg în industria chimică, s-a abordat cercetarea de tehnologii noi, pentru a se asigura protecția anticorozivă necesară în medii deosebit de agresive, dezvoltînd standurile de probe necesare, realizînd și omologînd asemenea motoare, ca motoare asincrone.

În cercetările inițiate pentru dezvoltarea de motoare cu întrefier axial s-a făcut un salt calitativ semnificativ, renunțîndu-se la realizarea rotoarelor-disc cu circuite imprimate și dezvoltînd tehnologii originale pentru realizarea rotorului-disc prin ștanțare, a sudurii bobinajului cu aparatură originală și introducîndu-se ulterior elemente de construcție brevetate ca evidențierea netă a colectorului mașinii. Realizarea unor asemenea motoare a fost posibilă

doar pentru că structura complexă a institutului a permis ca în laboratoarele de specialitate să se elaboreze magneți metalici cu înalte performanțe (6,5 — 7,5 MGsOe).

Participarea specialiștilor din institut la programele prioritare pentru dezvoltarea producției de mașini-unelte cu comandă numerică și, în anii următori, a programelor privind introducerea largă a automatizării și robotizării proceselor de producție s-a evidențiat plenar prin dezvoltarea pe care a căpătat-o servomotorul cu întrefier axial.

După asimilarea primei serii de 6 tipodimensiuni (seria SMV), aceasta a fost înnoită prin seria nouă SRD care, pînă în prezent cuprinde 3 tipodimensiuni, caracterizate prin greutăți specifice mai scăzute. S-au dezvoltat, paralel, tahogeneratoare cu întrefier axial și rotor-disc, care au condus la realizarea de construcții compacte cu traductor integrat. Ca o dezvoltare particulară se menționează seria SRID, cuprinzînd 4 tipodimensiuni, care este prevăzută cu o frînă de avarie integrată.

Motoarele cu întrefier axial și rotor-disc au format începutul unei microproducții în institut, care, amplificată an de an, a impus transferul în industrie rămînînd în institut doar fabricația de serie în exclusivitate a rotorului-disc, subansamblul de înaltă tehnicitate, care continuă și astăzi. Prin această microproducție ICPE contribuie substanțial la exportul unor produse de înaltă tehnicitate, destinate în primul rînd roboților industriali.

Solicitările din ce în ce mai frecvente ale industriei de motoare electrice pentru rezolvarea unor probleme, la care au apărut dificultăți în munca de concepție, sau de realizare tehnologică au fost prompt acceptate de institut și rezolvate printr-un efort tehnologic corespunzător. S-a putut astfel stabili o tehnologie pentru fabricarea de inele colectoare fiabile, în prima etapă cu folosirea unor materiale de import, apoi integrînd și masa termorigidă necesară.

S-au dezvoltat o serie de motoare cu frîne cu curenți turbionari, pusă în fabricație la întreprinderea „Electromotor"-Timișoara.

După o scurtă experiență în asimilarea fabricației, frînele fac obiectul exportului.

Deceniul 1975—1985 a pus în fața institutului noi sarcini, rezultate din programele prioritare elaborate de conducerea de partid pentru diferitele ramuri industriale, toate urmărind obiectivele strategice elaborate de conducerea de partid cu privire la folosirea judicioasă a materiilor prime produse în țară, economisirea de materiale și energie, dezvoltarea pe baze noi tehnologice a producției industriale, prin introducerea largă a automatizării producției, ulterior a robotizării.

Ansamblul programelor prioritare, la care institutul a fost și este angrenat cu forțe sporite, au impus realizarea punerii în funcțiune a unor investiții importante, atît în construcții, cît și în special în utilaje de înaltă tehnicitate, care să permită executarea în institut de prototipuri și serii limitate a unor produse a căror construcție impune un grad foarte înalt de precizie a prelucrării, ajungînd pînă la 1 micron.

Noua bază tehnologică a creat condiții optime cercetătorilor pentru a rezolva integral problema traductoarelor inductive de poziție, în prima etapă a celor liniare, apoi și a celor rotative. Montate pe mașini-unelte, sistemele de navigație și alte mecanisme de precizie, se integrează în servosistemele cele mai moderne. ICPE poate astăzi satisface prin microproducție organizată aproape totalitatea cerințelor interne.

O parte importantă din activitatea ultimilor ani s-a corelat cu colaborarea internațională, pe care o are țara noastră cu țările prietene din cadrul CAER, în acești ani, prin organizații specializate, ca de exemplu Interelectro.

O prezență importantă a institutului se resimte și în programele privind mașinile-unelte pentru care, pe lîngă seriile de motoare cu întrefier și rotor-disc, s-au realizat și servomotoare de curent continuu cu rotor cilindric (motoare-cuplu).

Motoarele-cuplu au tahogeneratoare integrate, dezvoltate tot de cercetătorii din ICPE și sînt uzinate la întreprinderea „Electromotor" Timișoara, cum este, de altfel, și întreaga serie concepută la nivelul firmelor de prestigiu.

Urmărind în paralel eliminarea materialelor deficitare (cobalt, nichel) s-a conceput o serie funcțional-echivalentă seriei SMUCF cu magneți permanenți ceramici, fabricați în țară.

Diversitatea sistemelor de acționare și reglaj automat, cu care a fost dotată industria noastră constructoare de mașini și celelalte ramuri industriale, ca și atenția care s-a acordat, practic, eliminării importurilor au impus preocuparea pentru asimilarea, aflată astăzi în diferite faze de realizare, a numeroase alte tipuri de servomotoare, cum sînt servomotoarele cu rotor-pahar, servomotoarele fără perii (cu comutație electronică) a motoarelor pas cu pas etc.

Colectivele de specialitate din ICPE au putut să-și extindă astfel preocupările legate inițial aproape exclusiv de motorul electric propriu-zis, spre cercetarea și realizarea de sisteme de acționare complexe, cum este sistemul de acționare pentru mașini decusut industriale, constînd dintr-un motor asincron cu rotorul în scurtcircuit, care funcționează permanent în gol și care, prin intermediul unui cuplaj electromagnetic, efectuează reglajul de turație impus.

Tehnica avansată la care a ajuns astăzi colectivul nostru își poate găsi validarea în prototipurile și testările complexe pe care le realizează în urma asigurării prin utilare a celor mai sofisticate tehnologii.

S-a putut, astfel, aborda domeniul mașinilor electrice de cea mai mare tehnicitate, al selsinelor, rezolverelor și altora cu aplicații în automatizare.

Noile condiții care s-au creat în institut prin creșterea importantă a personalului ocupat cu cercetările în domeniul motoarelor electrice, fie integrale, fie pe linia cooperărilor pe orizontală, au permis și reluarea unor teme deja rezolvate într-o primă abordare în deceniul precedent, dintre care se menționează cazul motoarelor asincrone cu frînă electromagnetică atașată — — produse asimilate de industrie, avînd o fiabilitate redusă și a căror construcție a fost radical îmbunătățită prin cooperarea ICPE cu Intreprinderea mecanică-Cugir, care a preluat apoi fabricarea integrală a acestor frîne (într-o variantă constructivă ușor modificată).

În ultimul cincinal s-au dezvoltat prin creație proprie o serie de motoare asincrone-frînă ca seria derivată a motoarelor de uz general din seria MA, proiectată de ICPE. Noua serie de motoare asicrone-frînă renunță la atașarea unei frîne suplimentare, construcția adoptată fiind funcțional superioară, prin aceea că dă posibilitatea realizării de agregate complexe cu microviteză, permițînd, prin aceasta, o modernizare a întregii producții de utilaje de ridicat fabricate în țară.

În fine, se mai menționează acțiunea întreprinsă pentru a contribui nemijlocit la reducerea importurilor prin dezvoltarea și asimilarea în colaborare cu întreprinderile producătoare (Sf. Gheorghe, Săcele) de motoare sincrone cu magneți permanenți și colivii de pornire, atît tipul în construcție normală cît și cel în construcție inversată, destinate echipării unor mașini de etirat-înfășurat fibre sintetice, funcționînd în grup la turație sincronă riguros constantă și corelate în funcție de procesul tehnologic de fabricație a fibrelor sintetice.

Desigur că, pe lîngă realizările prezentate pînă acum, ca o parte din activitatea ICPE în domeniul motoarelor electrice și care și-au găsit de acum o aplicație industrială de serie sau mică serie, trebuie menționate eforturile care se fac de colectivele noastre pentru cercetarea unor tipuri de motoare sau generatoare neconvenționale, cu aplicații fie în industria extracției petrolului, fie în producerea de energie prin metode neconvenționale, în primul rînd, pe baza energiei vîntului (eoliană) și a biogazului.

S-a încercat, în cele de mai sus, să se evidențieze evoluția care a prezentat o creștere neîntreruptă, condiționată de dorința și prezența institutului în satisfacerea promptă a necesităților de etapă ale economiei naționale cît și de tendința de a atinge și poate a devansa realizarea de mașini electrice în țara noastră, depășind nivelul mondial.

În acest scop, în anii care au trecut și, desigur, în cei care vor urma, se acordă o atenție deosebită studiilor de prognoză a cercetării științifice, executînd, din inițiativă proprie, sau la cererea organelor competente, studii alternative care să permită acestora opțiuni corespunzătoare, luarea de decizii pe baze cît mai riguros științifice.

Realizările ICPE în domeniul motoarelor electrice, evidențiate în acest articol se pot grupa pe trei etape distincte :

— etapa începuturilor, în care activitatea ICPE s-a limitat la un ajutor direct acordat industriei de specialiști de înaltă calificare ;

— etapa punerii în funcțiune a primei baze materiale, constînd din standuri de încercare specializate și efectuarea cercetărilor specifice domeniului de către echipe de cercetători, în cea mai mare parte tineri, etapă finalizată prin transferarea în industrie a unor proiecte pentru serii de motoare asincrone de uz general și de început al fabricării unor motoare neconvenționale (motoare cu întrefier axial și motoare cu rotor-disc) ;

— etapa a treia, în care prin dezvoltarea apreciabilă a bazei tehnico-materiale, ca și a colectivelor de lucru în domeniu în care s-a putut aborda o largă nomenclatură de mașini electrice și, în primul rînd, motoare de foarte înaltă tehnicitate, destinate automatizării producției industriale, introducerii robotizării în industrie, cît și unei microproducții proprii, în parte, cu realizări de foarte înaltă tehnicitate, astăzi, în exclusivitate în țară (producția de rotoare-disc ștanțate), a traductoarelor liniare și rotative, a unor familii întregi de micromașini solicitate în scopul automatizării industriale, diversă prin aceea că a fost condiționată și în același timp limitată de stadiul și evoluția materialelor specifice industriei electrotehnice (tabla din oțel electrotehnic, materiale electroizolante, conductori de cupru electrotehnic, magneți permanenți metalici și ceramici, perii colectoare etc.). În toate aceste domenii ale materialelor, cercetarea produsului, a motorului electric, a dispus în institut de posibilități de afirmare datorită viziunii interdisciplinare, a cuprinderii în aceeași unitate și a preocupărilor aferente caracterizării, în unele cazuri a elaborării, în toate cazurile a colaborării noastre cu industria orizontală, metalurgia, chimia, industria materialelor textile etc.

Legătura strînsă pe care, în tot acest interval de timp, specialiștii noștri au avut-o practic cu toate întreprinderile producătoare de motoare electrice din țară, a permis ca experiența acestora în cercetare și inginerie tehnologică să fie completată cu o anume experiență a producției, integrînd astfel cercetarea propriu-zisă cu producția industrială. O bună parte din cadrele noastre tinere au putut astfel să capete o calificare foarte ridicată în domeniu, institutul

colaborînd fie sub formă contractuală, fie prin lucrări cu caracter de doctorat ştiinţific, cu numeroase catedre din învăţămîntul superior.

Prin aceasta se poate considera că întregul ciclu învăţămînt-cercetare-producţie s-a manifestat în realizările prezentate, în parte, în cele de mai sus, ca şi în lucrările cu caracter ştiinţific publicate în reviste de specialitate atît în ţară, cît şi în reviste de înalt prestigiu din ţări industrializate, lucrări conexe activităţii de zi cu zi. O mare parte din realizările concrete îşi au atestată originalitatea soluţiilor adoptate, prin brevetarea lor în ţară, şi în numeroase ţări industrializate.

În această scurtă retrospectivă se poate aminti faptul că lucrările specialiştilor noştri acoperă practic toate domeniile de specialitate prin contribuţii remarcabile în sesiuni de comunicări, simpozioane naţionale şi internaţionale.

Acumularea unei bogate experienţe, pe care colectivele specializate în maşini electrice au căpătat-o în acest răstimp, abordarea interdisciplinară cu colaborarea nemijlocită a multor altor colective din institut, dau convingerea că, în perspectiva cincinalului 1986—1990, cît şi a sfîrşitului de secol se va putea aduce o contribuţie tot mai amplă la atingerea obiectivelor stabilite de Directivele Congresului al XIII-lea al P.C.R.

Va trebui revizuit întregul nomenclator de maşini electrice în lumina unor noi materiale de calitate superioară, care sînt necondiţionat necesare pentru un salt calitativ cu semnificaţie majoră.

Se are în vedere o îmbunătăţire substanţială a calităţii tablei electrotehnice, a diversificării fabricaţiei, o stabilitate în calitatea materialelor electroizolante, cît şi o diversificare a fabricării lor în ţară, în primul rînd pentru clasele de izolaţie FH, asimilarea largă a materialelor magnetice tari, a diferitelor sortimente de materiale de construcţie specifice producţiei de motoare de foarte înaltă tehnicitate, micromotoare, evoluţii în asimilarea de către industria orizontală de materiale textile, hîrtie, fire de sticlă etc., la înalt nivel de calitate din punct de vedere electrotehnic.

Specialiştii din ICPE îşi propun ca în etapele următoare să acorde o atenţie şi mai mare problemei tehnologiilor neconvenţionale în producerea de maşini electrice, inclusiv a sistemelor de acţionare în care acestea sînt incluse, problemei eliminării integrale a importurilor încă reziduale, urmărind, în acelaşi timp, o revizuire fundamentală a nomenclatorului de produse electromotorice, în scopul introducerii unei tipizări care să stea la baza creşterii eficienţei economice a producţiei şi sporirii competitivităţii acesteia. În acest scop, se va extinde proiectarea maşinilor electrice asistate de calculator, vor spori microproducţia în institut, ca şi colaborările cu institutele de învăţămînt de profil şi centralele industriale.

Prognozele efectuate în domeniul motoarelor electrice atestă o tendinţă de creştere substanţială a acestui produs atît în economia naţională, cît şi pe plan mondial.

S-a pus în evidenţă şi concurenţa acută, prin apariţia de noi producători cu o dinamică accentuată în ţările în curs de dezvoltare, prezenţa, în special pe piaţa mondială fiind stringent condiţionată de nivelul tehnic şi realizarea în condiţii economice a maşinilor electrice în toată gama lor de dimensiuni, de la maşini cu dimensiuni exprimate în metri, la micromaşini cu dimensiuni exprimate în milimetri. Aceasta impune ca în viitor să se acorde în continuare atenţie tematicii legate de motoarele electrice neconvenţionale, a căror concepţie şi aplicaţie cer o înaltă specializare.

Sîntem încredinţaţi de faptul că aniversarea în anul 1990 a celei de a 40-a existenţe a institutului nostru ne va permite să marcăm succese semnificative în acest sens.

CZ 621.314.5 :622.24

CONVERTIZOARE STATICE
INSTALAŢII DE FORAJ

Convertizoare statice pentru acţionări în forajul terestru din R.S.R.

VALERIAN CIOFU, VIOREL GHIŢĂ, ELENA LAPEDATU, PAUL STAVARACHE, ALEXANDRU SATRAN, ION POTÎRNICHE, VALERIU GURAN, SERGIU ROZENBERG, MARIANA MICU, EMIL LĂZĂRESCU

Introducere

Acţionările electrice reglate cu convertizoare statice au cîştigat teren în domeniul forajului petrolier, pe linia eforturilor de ridicare a randamentelor generale ale instalaţiilor şi de modernizare a acestora.

Iniţiatorii acestui program, începînd cu aproape două decenii în urmă, au fost cercetătorii din ICPE în colaborare cu specialiştii din domeniul utilajului petrolier. Aceste preocupări au condus la lucrări de cercetare-dezvoltare sisteme şi realizarea de echipamente prototip, de acţionări electrice şi electroenergetice, cercetări care

continuă şi în prezent, căutînd să introducă şi să adapteze în permanenţă cerinţele instalaţiilor de foraj cu cele mai recente cuceriri ale tehnicii mondiale.

Astfel, odată cu fabricarea industrială a tiristoarelor de putere (sfîrşitul deceniului 1960—1970), ICPE a introdus sistemul de acţionare a agregatelor (troliu, masă rotativă, pompe de noroi), instalaţiilor de foraj din RSR, cu motoare de c.c. alimentate prin convertizoare statice c.a. — c.c. cu tiristoare, realizînd, în deceniul 1970—1980, o primă generaţie de prototipuri (pentru instalaţiile de foraj F 320-E, F 200-EC, F 400-DEC), iar după 1981, a doua generaţie (pentru instalaţiile F 100/125 —EC, F 125—EC(SA), F 80—EC(SA)).

Faţă de sistemul de acţionare cu turaţie variabilă cu motoare de c.c. şi convertizoare cu amplificatoare magnetice, cercetat tot la ICPE într-o etapă anterioară [1], această soluţie se bucură de avantajele binecunoscute conferite de utilizarea semiconductoarelor de putere, iar faţă de sistemul cu convertizoare rotative (Ward-Leonard), cercetat de asemenea la ICPE (pentru instalaţia F 500 — DEWL şi platformele de foraj marin), s-a impus prin avantaje de ordin energetic [2].

În prezent la ICPE se desfăşoară lucrări de cercetare pentru sisteme de acţionare cu viteză variabilă cu motoare de curent alternativ, alimentate prin convertizoare statice c.a.—c.c., de frecvenţă variabilă, care au ca scop realizarea prototipurilor de echipamente pentru instalaţiile de foraj F 125 — EA(S), cu motoare sincrone şi F 200 — EA(AS), cu motoare asincrone cu rotor în scurtcircuit.

1. Acţionări cu motoare de curent continuu

În perioada 1970 — 1972, s-a cercetat şi realizat la ICPE prototipul de echipament cu convertizoare cu tiristoare pentru acţionarea a 5 motoare de c.c., de 850 kW (770 V; 1 100 rot/min), pentru instalaţia de foraj F 320 — E de 320 tf la cîrlig şi adîncimi de foraj pînă la 6 000 m, cu alimentare de la reţea sau grupuri electrogene (microcentrală). Echipamentul realizat cu tiristoarele disponibile în acea perioadă (250 A, 1 100 V), omologat cu ansamblul instalaţiei de foraj în 1972, a intrat în exploatare la sfîrşitul aceluiaşi an, fiind în funcţiune şi în prezent.

După cum rezultă din literatură, deşi aplicat în instalaţii de foraj marin (off shore) încă din 1968 [3], sistemul de acţionare cu motoare de c.c. şi convertizoare statice c.a. — c.c. cu tiristoare a făcut ca instalaţia F 320 — E să constituie o premieră pentru instalaţiile de foraj pe uscat (on shore).

În cadrul acestui echipament, convertizoarele c.a. — c.c. sînt de tipul punte trifazată semicomandată cu diodă de nul, pentru alimentarea indusului motoarelor de c.c. şi punte complet comandată pentru alimentarea excitaţiei. Reglarea turaţiei în gamă largă s-a realizat în buclă de turaţie, cu măsură prin tahogenerator, cu buclă subordonată de curent, pe rotor, iar pentru stator cu buclă de reglare a curentului de excitaţie.

Schema monofilară — bloc a echipamentului, pentru un motor de acţionare a troliului, este prezentată în figura 1 [4].

Odată cu evoluţia fabricării tiristoarelor de puteri unitare mărite (900 A, 2 400 V), precum

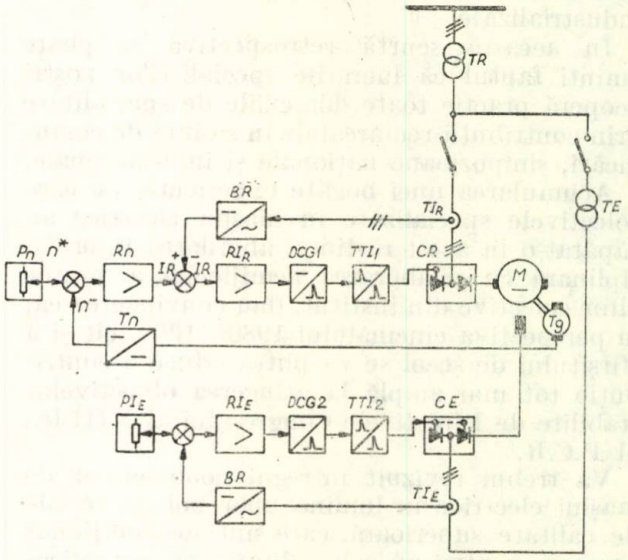


Fig. 1. Schema monofilară — bloc a echipamentului pentru instalaţia F 320 — E.

şi a circuitelor integrate, ICPE a început, în 1977, cercetările pentru realizarea unor echipamente modernizate, cu convertizoare cu tiristoare, pentru instalaţia de foraj F 200 — EC [5, 6], cu alimentare de la reţea (20/0,66 kV), cu motoare de c.c. de 850 kW.

Echipamentul realizat (staţii de acţionare, comandă şi reglare pentru 2 motoare de 850 kW) asigură practic, prin alegerea convenabilă a numărului de staţii, dotarea pentru toată gama instalaţiilor de mare adîncime, între F 200 şi F 800, utilizate în RSR.

Convertizoarele c.a. — c.c., realizate pentru aceste instalaţii, sînt de tipul punte trifazată complet comandată cu tiristoare (două în paralel pe fiecare braţ al punţii), pentru alimentarea indusului, şi punte semicomandată pentru alimentarea excitaţiei. Reglarea turaţiei a fost înlocuită din motive de robusteţe (eliminarea tahogeneratorului), cu reglare de tensiune pe indus şi buclă subordonată de curent. Schema de reglare a fost perfecţionată prin introducerea unor bucle de limitare a puterii de acţionare şi de echilibrare a sarcinilor (cuplurilor) a două motoare cuplate mecanic, după o soluţie originală [7, 8]. Reversarea sensului de rotaţie

(necesară la motoarele de la troliu și masa rotativă) este asigurată prin reversarea curentului de excitație.

Schema-bloc a echipamentului pentru două motoare de acționare a troliului este prezentă în figura 2.

Echipamentul a fost proiectat atît funcțional, cît și constructiv în concepție modulizată, astfel ca oricare din module să poată alimenta și asigura parametrii funcționali pentru oricare din motoarele montate pe utilajele instalațiilor de foraj (troliu, masa rotativă, pompe de noroi). Aceasta constituie caracteristica de bază a

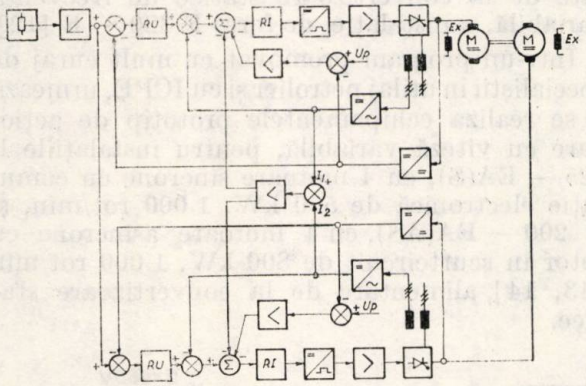


Fig. 2. Schema monofilară — bloc pentru acționarea cu două motoare a troliului instalației F 200 — EC.

primei generații de prototipuri, care au fost realizate în stații cu cîte două și trei module identice.

Utilizînd avantajele modulizării amintite, trei stații pentru acționarea a cîte două motoare, au echipat prototipul instalației de foraj F 400 — DEC, realizată în 1980, cu alimentare diesel-electrică, și care, din punct de vedere al acționării, nu diferă de F 200 — EC decît prin numărul de stații și motoare folosite.

Este locul să se menționeze că proiectul ICPE de stații cu două module pentru motoarele de 850 kW, supus la minuțioase și reușite operații de inginerie tehnologică la CCSIT-EP, a stat la baza fabricației de serie a echipamentelor de acționare în curent continuu pentru instalații de foraj, la întreprinderea „Electroputere" — Craiova, începînd cu 1981—1982 pentru instalația F 200—EC și ulterior diversificat și pentru alte tipodimensiuni dotate cu motoare de 850 kW, 550 kW și 400 kW.

În vederea realizării unor echipamente de acționare adecvate instalațiilor de foraj, din gama pînă la 200 tf la cîrlig, în 1980—1981 la ICPE au început lucrările de cercetare-realizare a unei noi generații, cu parametri tehnico-economici și funcționali superiori. Astfel, într-un singur colet (stație) sînt cuprinse patru module de acționare cu gabarit și greutate reduse cu aproximativ 30 ÷ 35 % față de generația anterioară, cu reducerea substanțială a materialelor electrotehnice înglobate. Stația, care poate alimenta simultan 4 motoare de 550 kW, 400 kW sau 850 kW (cu limitarea puterii la 550 kW), este prevăzută cu izolație termică din spumă poliuretanică rigidă, ventilație cu aer de răcire în circuit deschis sau circulație cu aer cald în circuit închis, pentru funcționare la temperaturi scăzute. Acest echipament, cunoscut sub denumirea de SDACR — 4 × 550 FSC a introdus în premieră după soluții originale funcțiuni noi, cu bune rezultate în exploatare, foarte importante și apreciate de utilizatori, și anume:

— frînarea cu recuperarea energiei în rețeaua de curent alternativ [9];

— salvarea garniturii de foraj, cu putere redusă și cuplu nominal [10], prin alimentarea convertizoarelor de la grup electrogen auxiliar de putere redusă, în cazul întreruperii alimentării de la rețea (fig. 3).

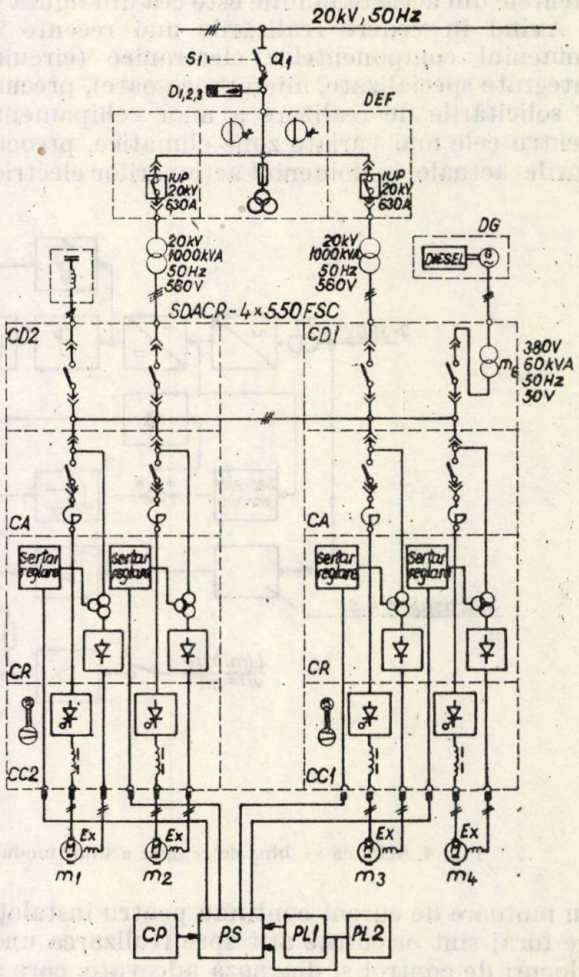


Fig. 3. — Schema monofilară a stației de acționare SDACR— — 4 × 550 FSC.

De asemenea, trebuie remarcat faptul că stația SDACR 4 × 550 FSC este primul echipament conceput și realizat cu componente fabricate în întregime în țară.

Blocul electronic compact [11], cercetat la ICPE și realizat pentru acest echipament a

intrat în fabricaţie de serie la IPRS-Băneasa şi se utilizează în prezent, în diferite variante, la toate echipamentele de acţionare cu motoare de c.c. pentru instalaţii de foraj, inclusiv la cele din prima generaţie în fabricaţie de serie la IEPC, precum şi la aplicaţii industriale din alte domenii.

În cadrul cercetărilor complexe, ICPE a tipizat o familie de echipamente din generaţia a II-a, pentru 4, 3 şi 2 motoare 400÷550 kW, care satisfac o întreagă gamă de instalaţii de foraj şi intervenţie, fixe sau transportabile şi autotransportabile. Astfel, în 1983—1984 s-a realizat staţia SDACR — 3 × 550 FSC pentru instalaţia F 125 — SA — EC, iar în prezent se realizează o serie de staţii de 2 × 550 kW, cu echipament inclus de compensare a factorului de putere. Schema-bloc tipică pentru echipamentele din această familie este cea din figura 4.

Avînd în vedere realizările mai recente în domeniul componentelor electronice (circuite integrate specializate, microprocesoare), precum şi solicitările de realizare a unor echipamente pentru cele mai variate zone climatice, preocupările actuale în domeniul acţionărilor electrice destinate instalaţiilor de foraj a celor mai noi realizări ale tehnicii şi menţinerea puterii de competiţie a României ca producător de utilaj petrolier pe piaţa externă, în prezent la ICPE sînt în curs lucrări de cercetare privind acţionări cu motoare de curent alternativ, de viteză variabilă, alimentate de la convertizoare statice de frecvenţă variabilă. Aceste lucrări au reluat, la nivelul componetelor actuale, seria unor preocupări din anii 1970—1971 cînd la ICPE s-au studiat, pe modele funcţionale, soluţii de acţionare cu viteză variabilă cu motoare asincrone cu rotor bobinat şi în scurtcircuit, alimentate de la convertizoare statice de frecvenţă variabilă, a instalaţiei de foraj F 320 — E [12].

Într-un program promovat cu mult curaj de specialiştii în utilaj petrolier şi cu ICPE, urmează a se realiza echipamentele prototip de acţionare cu viteză variabilă, pentru instalaţiile F 125 — EA(S), cu 4 motoare sincrone cu comutaţie electronică de 550 kW, 1 000 rot/min, şi F 200 — EA(AS), cu 4 motoare asincrone cu rotor în scurtcircuit de 800 kW, 1 000 rot/min [13, 14], alimentate de la convertizoare statice.

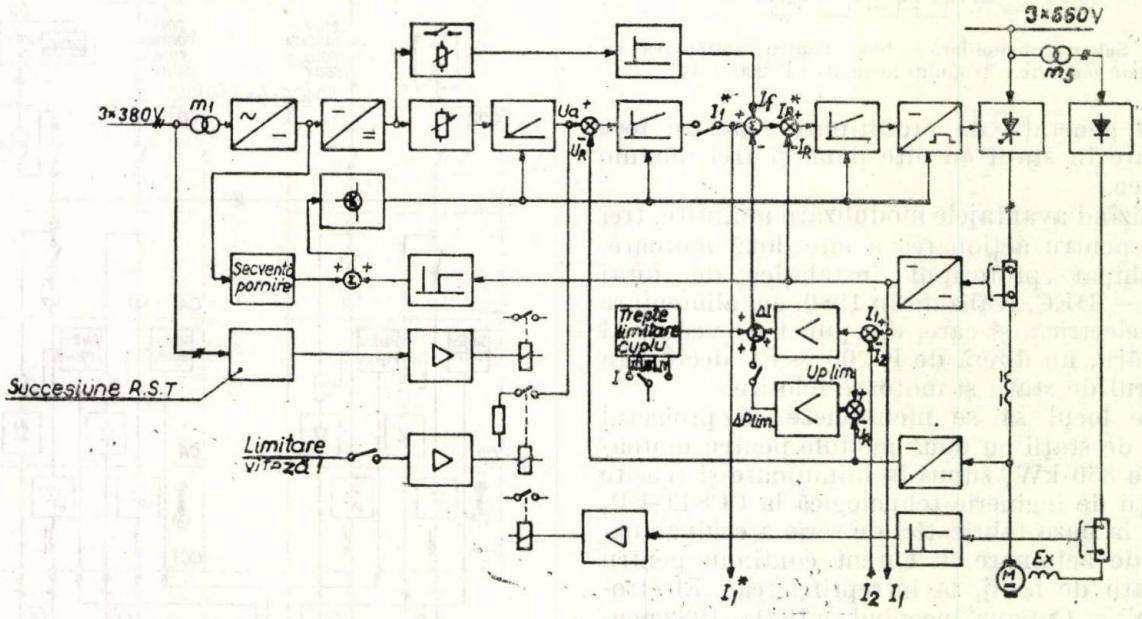


Fig. 4. Schema — bloc de reglare a unui modul de acţionare din cadrul staţiei SDACR — 4 × 550 FSC.

cu motoare de curent continuu pentru instalaţii de foraj sînt orientate atît spre realizarea unor blocuri de control şi diagnoză adecvate, care să contribuie la reducerea substanţială a timpilor de control şi diagnoză, precum şi spre concretizarea unor construcţii diversificate sub aspectul protecţiei climatice.

2. Acţionări reglabile cu motoare de curent alternativ

Urmînd cu consecvenţă preocupările privind introducerea şi adaptarea pentru echipamentele

În figura 5 este prezentată schema monofilară-bloc a unei variante experimentale a echipamentului pentru instalaţia F 125 — EA(S) cu motoare sincrone, de turaţie variabilă, fără perii.

Convertizorul static de frecvenţă variabilă este de tipul cu circuit intermediar de c.c. şi cuprinde un redresor cu tiristoare în punte complet comandată şi un invertor (ondulor) de frecvenţă variabilă, cu comutaţie naturală de la maşină. Convertizorul maşinii împreună cu

motorul sincron formează așa-numitul motor sincron cu comutație electronică.

În figura 6 este prezentată schema monofilară-bloc a unei variante experimentale a echipamentului pentru instalația F 200 — EA(AS), cu motor asincron cu rotor în scurtcircuit, de turație variabilă.

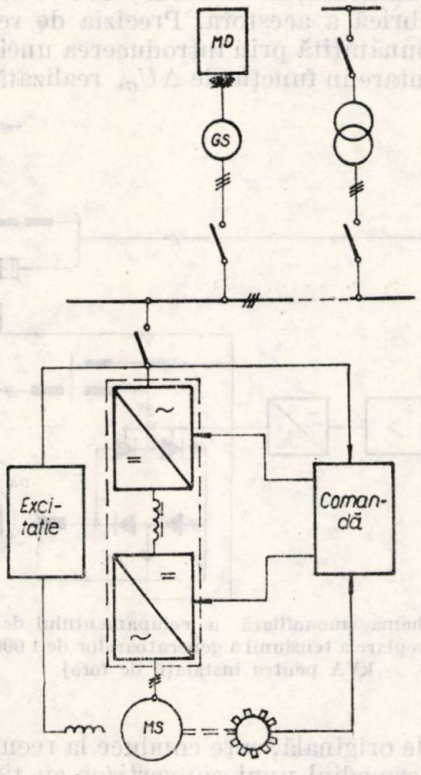


Fig. 5. Schema de principiu a echipamentului pentru un motor de acționare a instalației F 125 — EA(S).

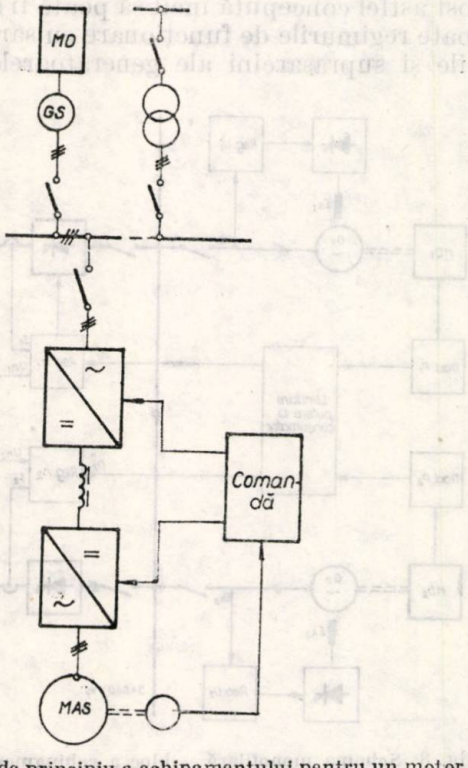


Fig. 6. Schema de principiu a echipamentului pentru un motor de acționare a instalației F 200 — EA(AS).

Convertizorul static de frecvență variabilă este, de asemenea, de tipul cu circuit intermediar de c.c., cuprinzînd un redresor cu tiristoare, comandat cu punte completă și un invertor de frecvență variabilă cu stingere forțată prin condensatoare.

La ambele soluții fiecare convertizor, atît cele de pe partea rețelei, cît și cele de pe partea mașinii au scheme proprii de reglare pentru limitarea unor parametri (curent, cuplu, flux etc). fiind guvernate pe ansamblu de o buclă de turație (sau frecvență). Se realizează astfel o caracteristică de acționare similară motorului de curent continuu cu excitație independentă (cuplu constant și putere variabilă — punte constantă și cuplu diminuat).

Reversarea sensului de rotație al motoarelor se realizează static, prin comandă electronică de inversare a succesiunii de aprindere și stingere a fazelor în convertizorul mașinii. De asemenea, tot prin comandă asociată schemei de reglare, este posibilă frînarea cu recuperarea energiei, în cazul alimentării de la rețea.

În ambele variante de acționare este posibilă alimentarea întregului echipament de la rețea sau de la centrală cu grupuri electrogene, în sistem insular.

Mașinile electrice de curent alternativ cu turație variabilă, atît cele sincrone, cît și cele asincrone cu rotor în scurtcircuit, sînt din clasa mașinilor neconvenționale și necesită o proiectare adecvată.

Datorită asimilării și dezvoltării în țara noastră atît a semiconductoarelor de putere, cît și a componentelor electronice specializate, asociate cu evoluția corespunzătoare a soluțiilor de acționare, este posibilă utilizarea motoarelor de curent alternativ în aplicații industriale, inclusiv în instalațiile de foraj.

Ca urmare a avantajelor recunoscute pentru acționările cu motoare de curent alternativ, la care sînt eliminate orice contacte electrice de forță în mișcare, introducerea acestora în instalațiile de foraj va contribui în mod esențial la ridicarea nivelului tehnic al acestora, precum și la creșterea siguranței în funcționare.

3. Echipamente electroenergetice

De o importanță deosebită este faptul că, pe lîngă preocupările susținute în realizarea stațiilor de acționare, ICPE a dezvoltat în paralel și soluții moderne pentru echipamentul necesar surselor de energie independente de rețea, pentru alimentarea anumitor instalații de foraj izolate, sau folosite ca sursă de emergență în cazul dispariției tensiunii în rețelele de alimentare.

Din această categorie fac parte echipamentele de excitaţie statică, reglarea tensiunii, echilibrarea sarcinilor reactive, comanda sincronizării şi a cuplării la bare, destinate generatoarelor sincrone antrenate de motoare termice (grupuri diesel-generatoare) funcţionînd în paralel şi alcătuind veritabile centrale de c.a., sau utilizate ca grupuri singulare de intervenţie.

Astfel, ICPE a cercetat şi realizat în perioada 1974—1976, după o soluţie originală [16], echipamentul energetic pentru o centrală cu 2 grupuri electrogene de 1 000 kVA fiecare, antrenate de motoare diesel 6 LDSR — 28 H. Această centrală, sau aşa cum a fost denumită sugestiv „microcentrală", a constituit sursa de alimentare a consumatorilor de curent alternativ (3 × 380V ef) de pe prima platformă de foraj marin românească „Gloria", asigurînd funcţionarea individuală şi în paralel a celor două grupuri, pentru obţinerea unei puteri instalate de 2 000 kVA. Datorită performanţelor bune obţinute şi a remarcabilei siguranţe în funcţionare, pe care le-a demonstrat echipamentul în această soluţie, acesta a fost adoptat în continuare şi pentru platformele de foraj marin nr. 2 ÷ nr. 7.

Echipamentul electroenergetic cu cea mai mare complexitate, cercetat la ICPE, pentru instalaţii de foraj a fost cel concretizat prin staţia SESC — 3 DG 2 500, destinat microcentralei de 7 500 kVA, pentru alimentarea instalaţiei F 400 — DEC [17]. Acest echipament asigură excitarea, reglarea tensiunii, repartiţia sarcinilor reactive, sincronizarea şi cuplarea la bare a 3 grupuri electrogene DGPR — 2 500/660 de 2 500 kVA, 660 V, antrenate de motoare ALCO 12 R 251, care alimentează la bară comună, în sistem insular, convertizoarele cu tiristoare c.a. — c.c., din cadrul echipamentului de acţionare descris anterior.

Deoarece trebuia aleasă o soluţie de excitaţie statică a generatoarelor, care să confere viteză mare de răspuns a sistemului la şocurile de sarcină brutale caracteristice regimurilor de lucru din foraj, s-au utilizat soluţiile de principiu experimentate anterior pe platformele de foraj marin (fig. 7).

Obţinerea de performanţe dinamice superioare asociată cu o siguranţă mărită în funcţionare, a condus la alegerea unor generatoare sincrone construite fără excitatoare rotative, astfel încît echipamentul de excitaţie a trebuit să realizeze excitarea acestora printr-o metodă de excitaţie statică cu comporendare care permite să se obţină curentul de excitaţie chiar de la bornele generatorului prin două circuite legate în mod corespunzător cu tensiunea şi curentul statorului. Însumarea componentei dependentă de tensiunea generatorului şi a componentei dependentă de curentul statoric se realizează pe partea de alimentare în curent alternativ a convertizorului cu diode (fig. 7), la a căror ieşire în curent continuu este conectată înfăşurarea de excitaţie, astfel încît sarcinile active ale generatorului conduc la adunarea geometrică a componentelor în cvadratură, iar sarcinile reactive la adunarea algebrică a acestora. Precizia de reglare a fost îmbunătăţită prin introducerea unei reglări suplimentare în funcţie de ΔU_G, realizată într-o

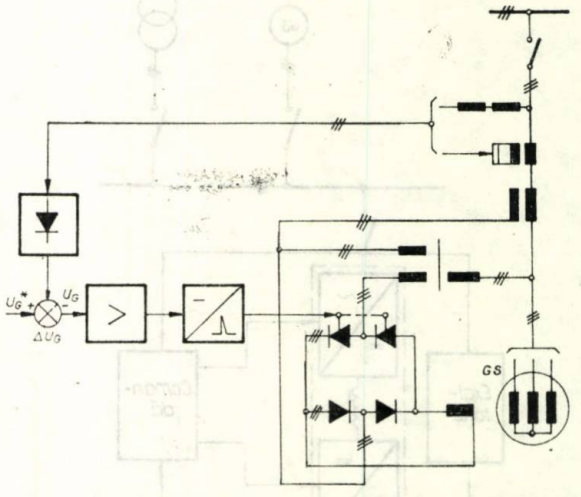


Fig. 7. Schema monofilară a echipamentului de excitaţie statică şi reglare a tensiunii a generatoarelor de 1 000 ÷ 2 500 kVA pentru instalaţii de foraj.

concepţie originală, care conduce la recuperarea prin intermediul unui convertizor cu tiristoare a surplusului de energie de supracompoundare. Dimensionarea echipamentelor de excitaţie a fost astfel concepută încît să poată fi satisfăcute toate regimurile de funcţionare cu sarcini variabile şi suprasarcini ale generatoarelor, pentru

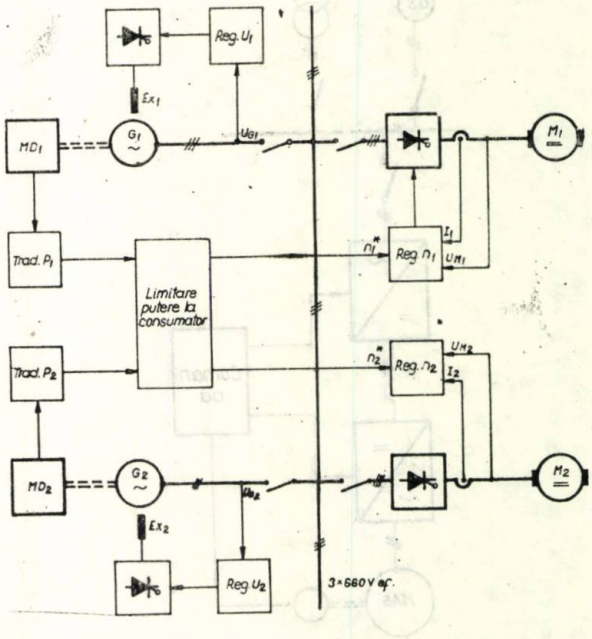


Fig. 8. Schema monofilară — bloc a echipamentului pentru instalaţia F 400 — DEC.

forțarea excitației, asigurîndu-se un nivel de peste 2 I_{en}.

În domeniul reglajului automat al sistemului energetic insular a fost cercetată o soluție originală [15] de limitare a puterii consumatorilor (constînd din convertizoarele cu tiristoare din cadrul acționării cu caracteristică de putere variabilă) în scopul utilizării raționale a puterii instalate disponibile a microcentralei, fără riscul depășirii parametrilor limită putere-frecvență.

În figura 8 este prezentată schema monofilară-bloc care pune în evidență modul în care a fost rezolvată problema limitării consumatorilor, respectiv interconexiunea dintre echipamentul microcentralei și stațiile de acționare cu convertizoare cu tiristoare.

Soluția de ansamblu a echipamentului electroenergetic și de acționare pentru F 400—DEC a permis verificarea pe o instalație de uscat a viitoarei structuri a echipamentelor pentru platforme de foraj marin.

4. Concluzii

În cadrul ICPE s-au cercetat și realizat o serie de prototipuri de echipamente electroenergetice și de acționare reglabilă care au permis introducerea electronicii de putere în domeniul instalațiilor de foraj.

Evoluția acestei activități de cercetare-realizare la ICPE a prototipurilor pentru acționări cu motoare de c.c. și c.a. este prezentată sintetic în tabelul 1, în care s-au enumerat principalele caracteristici ale echipamentelor, mai ales sub aspectul soluțiilor de acționare adoptate.

Pe baza cercetărilor efectuate s-a fundamentat fabricarea de astfel de echipamente în R.S. R., țara noastră fiind printre puținele din lume care produc în serie asemenea echipamente.

TABELUL Nr. 1

Nr. crt.	Tipul instalației		Sursa de alimentare	Nr. de motor	Putere motor	Tip convertizor		Schema de reglare	Tip de acționare	Anul punerii în funcțiune	Observații
						ROTOR	STATOR (E2)				
1	CURENT CONTINUU – Generația I –	F320-E	Rețea 20/0,66 kV	5	850 KW	Punte semicomandată cu diodă de nul	Punte complect comandată cu tiristoare	-Reglare turație cu tahogenerator -Limitare curent rotoric -Reglare flux	Cadranele I și II cu reversarea excitației	1972	Stații de acționare cu 2 și 3 module
2		F200-EC	Rețea 20/0,66 kV	4	850 KW	Punte complect comandată cu tiristoare	Punte semicomandată cu tiristoare și diode	-Reglare tensiune alim. rotor -Limitare curent rotor -Echilibrare cuplu -Limitare putere -Reglare flux	Cadranele I și II cu reversarea excitației	1979	Stații de acționare tip SACR, cu 2 și 3 module
3		F400-DEC	Microcentrală cu grupuri DG, 2500 kVA	7+1	850+400 KW	—„—	—„—	—„—	—„—	1981	Stații de acționare SACR cu 2 module (3 stații) și stație SESC-300 2500 pentru microcentrală
4	CURENT CONTINUU – Generația II –	F125-EC	Rețea 20/0,66 kV	4	550 (850) KW	—„—	Punte necomandată cu diode	-Reglare tensiune alim. rotor -Limitare curent rotor -Echilibrare cuplu -Limitare putere -Reglare curent frînare cu recuperare -Salvare garnitură, cu putere redusă, de la DG auxiliar	Cadranele I, II, III și IV cu reversarea excitației	1982	Stație SDACR-4×550 FSC (cu 4 module), cu izolație termică și climatizare
5		F100-EC	Rețea 20/0,66 kV	4	400 KW	—„—	—„—	—„—	—„—	1983	—„—
6		F125-SA-EC	Rețea 20/0,66 kV	3	550 KW	—„—	—„—	—„—	—„—	1985	Stație SDACR-3×550 FSC (cu 3 module), cu izolație termică și climatizare
7	CURENT ALTERNATIV	F125-EA (S)	Rețea 20/0,66 kV	4	550 KW	Punte cu diode rotative	Convertizor de frecvență cu comutație naturală	-Reglare turație -Limitare curent -Reglare curent excitație	Cadranele I, II, III, IV	1987	—
8		F200-EA (AS)	Rețea 20/0,66 kV	4	800 KW	—	Convertizor de frecvență cu comutație forțată	-Reglare turație -Limitare curent -Limitare tensiune	Cadranele I, II, III, IV	1987	—

Bibliografie

[1] *Zăroni, R., Dan, I., Lapedatu, E., Serbănescu, B., Ghiță, V., Ghiță, M.* Echipamente de acționare electrică pentru instalații de foraj cu motoare de c.c. alimentate prin redresoare reglabile. In: E.E A. — Electrotehnica **23** (1976), nr. 6.

[2] *Mc. Nair-W. L.* Electric drilling rigs show favorable economics. În: Oil & Gas Journal, nr. 7, apr. 1980.

[3] *Moțohein, B. I.* Tiristornîie preobrazovateli zarubejnîh burovîh ustanovok. 1979.

[4] *Zăroni, R., Lapedatu, E., Ghiță, V., Ghiță, M.* Echipament de acționare electrică cu tiristoare pentru instalația de foraj F 320 — E. Sesiunea de comunicări ICPE 1976.

[5] *Ghiță, V., Satran, A., Lapedatu, E., Zăroni, R., Guran, V., Stanciu, E.* Echipament de acționare în c.c. cu redresoare reglabile cu tiristoare și alimentare de la rețea pentru instalația de foraj F 200 — EC. Sesiunea a VII-a de comunicări IPCUP 1979.

[6] *Ghiță, V., Lapedatu, E., Zăroni, R., Satran, A.* Echipament modern de acționare pentru instalații de foraj de mare adîncime. Sesiunea a VIII-a de comunicări IPA 1980.

[7] *Ghiță, V., Satran, A., Lapedatu, E., Zăroni, R., Guran, V., Stanciu, E.* Acționare cu două motoare de c.c. cuplate pe același ax, limitare de putere și echilibrare automată

a cuplurilor. A III-a Conferință Națională de Acționări Electrice. Universitatea Brașov 1982.
[8] *Ghiță, V., Satran, A., Lapedatu, E., Zăroni, R.* Brevet RSR Nr. 75849.
[9] *Ghiță, V., Guran, V., Stănciu, E., Satran, A.* Echipament de frînare cu recuperare pentru instalații de foraj acționate cu motoare de c.c. alimentate de la convertizoare statice c.a./c.c. A IV-a Conferință Națională de Acționări Electrice—Universitatea—Craiova 1984.
[10] *Ghiță, V., Lapedatu, E., Zăroni, R., Peligrad, N., Andrei, Gh.* Brevet RSR Nr. 83525.
[11] *Satran, A., Zăroni, R., Ghiță, V.* Bloc electronic compact de comandă reglare și protecție pentru acționări cu motoare de c.c. în foraj și utilizări generale. Sesiunea de Comunicări IPCUP 1985 (în pregătire).
[12] *Ghiță, V., Ghiță, M., Zăroni, R., Lapedatu, E.* Acționarea instalației de foraj F 320 în curent alternativ. Documentație ICPE — 1971
[13] *Ghiță, V., Zăroni, R., Lapedatu, E., Guran, V., Stanciu, E.* Echipamente de acționare cu motoare de c.a. pentru instalațiile de foraj F 125 — EA (S) și F 200—EA(AS) Studiu ICPE — 1984.
[14] *Zăroni, R., Ghiță, V., Lapedatu, E.* Acționări cu motoare de c.a. și perspectivele aplicării în instalațiile de foraj. Sesiunea de Comunicări IPCUP 1985 (în pregătire).
[15] *Zăroni, R., Ghiță, V., Satran, A., Lapedatu, E., Rozenberg, S.* Brevet RSR Nr. 77920.
[16] *Zăroni, R., Lapedatu, E., Micu, D., Rozenberg, S., Micu, M.* Echipamente de excitație statică cu compundare pentru generatorul sincron de 1000 kVA al grupului electrogen 6LDSR — 28 H din producția ICM—Reșița. Sesiunea de comunicări „10 ani de activitate a ICPEH-Reșița" 17—18 oct 1975, Reșița.
[17] *Zăroni, R., Lapedatu, E., Micu, D., Rozenberg, S., Micu, M., Lăzărescu, E.* Echipament cu tiristoare pentru microcentrale de curent alternativ cu grupuri electrogene. Comunicare la Primul Simpozion de electronică de putere, 20—21 mai 1977, București.

CZ. 621.315.6 :621.315.212
621.318.2 :621.3.047.4

MATERIALE ELECTROTEHNICE

Cercetările de materiale în ICPE și progresele electrotehnicii românești

VALERIAN L. CIOFU

Progresele în cercetarea și utilizarea materialelor electrotehnice sînt deosebit de dinamice; ritmurile de înnoire și de diversificare a lor sînt mai spectaculoase îndeosebi în ultimele două decenii. Astfel, materialele din clasa A de izolație au dispărut din tehnică în deceniul al 6-lea, după o utilizare de peste jumătate de secol. Le-au luat locul materialele din clasa E care s-au extins și au regresat în deceniul 7. Clasele B și F de izolație s-au generalizat practic, în paralel, în ultimii 15 ani. Astăzi se cercetează și începe utilizarea materialelor din clasa H de izolație. Materialele magnetice au urmat și ele aceeași tendință de progres, dar s-au implementat relativ mai puțin alert. Astfel, tablele electrotehnice din fero-siliciu laminate la cald s-au utilizat pînă în deceniul al 7-lea, cînd au cedat locul benzilor cu cristale orientate și neorientate, laminate la rece, din import, iar recent și din țară, avînd pierderi specifice și proprietăți magnetice mult îmbunătățite. În ultimul deceniu se asistă la o dezvoltare spectaculoasă a magneților permanenți.

Toate aceste progrese au condus la miniaturizarea produselor electrotehnice și la ridicarea parametrilor electrici, energetici, economici și de acționare. Pe de altă parte, creșterea puterii în rețele impune parametri de material mai ridicați, geometrii mai elaborate și noi metode de încercare a camerelor ceramice de arc (pentru aparatajul de comutație și de protecție), izolatoarelor-suport, contactelor electrice, benzilor de fretare contra solicitărilor electrodinamice la scurt-circuite ale înfășurărilor transformatoarelor. Pătrunderea electrotehnicii în cele mai variate aplicații economice, social-culturale și de uz personal, dezvoltarea rapidă a electronicii și automaticii, cerințele de reducere a consumurilor de materiale și energie, creșterea fiabilității produselor, sînt condiționate de continua diversificare și modernizare a materialelor și tehnologiilor de utilizare a lor. Toate acestea justifică interesul crescînd al unui larg cerc de specialiști electricieni față de realizările și preocupările noi ale cercetătorilor de material și, în general, față de problematica acestui domeniu tehnic. În cele ce urmează, se va face o succintă trecere în revistă a stadiului actual și aspectelor specifice cercetării de material în ICPE. Specialiștii care se vor interesa de mai multe detalii, parametri particulari, sau noi domenii de aplicare, vor putea consulta laboratoarele și brevetoteca institutului. Intenția autorului este ca această expunere să se constituie și într-o invitație pentru tinerii electricieni, fizicieni, chimiști, metalurgiști de a se orienta înspre cercetarea noilor materiale electrotehnice. Ca sectorizare, în țara noastră materialele chimice, izolante, magnetice ș.a. se cercetează și se fabrică în cadrul ministerelor de profil. Anual se stabilesc balanțele de livrări și se specifică noile sortimente necesare. Anul 1980 a fost marcat de elaborarea la nivel MIMUEE și CNST a unei strategii de cercetare și fabricare a tuturor materialelor în cadrul întregii economii, care a stat la baza progra-

melor de asimilare în acest cincinal al întregii reţele de cercetare din RSR.

În cele ce urmează nu se vor face referiri la materialele asimilate de alte ministere, sau direct de întreprinderile din ministerul de profil, fie prin forţe proprii, fie prin colaborare internaţională.

1. Materiale magnetice

Materialele magnetice cu cea mai mare pondere în industria electrotehnică sînt astăzi benzile şi tablele subţiri din fero-siliciu, cu cristale neorientate sau orientate, laminate la rece, pentru maşini, transformatoare şi aparate electrice.

Aceste materiale (magnetice moi) se fabrică în cantităţi şi la nivele calitative în creştere la Combinatul de oţeluri speciale-Tîrgovişte, iar cercetarea este arondată Institutului de cercetări metalurgice, asistat de beneficiarii din ICPE. Cu dispersii parametrice încă, a început şi fabricarea sorturilor M4 şi M3.

Cercetările fundamental-orientate şi tehnologice ale familiei de materiale magnetice dure, destinate majorităţii aplicaţiilor în electrotehnică, precum şi principala pondere a producţiei acestora au intrat de mai mulţi ani în profilul secţiei de cercetare a materialelor şi tehnologiilor specifice (laboratorul de materiale magnetice) din ICPE. Aici există un polivalent potenţial material şi uman. Pe plan ştiinţific, locul fizicienilor noştri, care excelează în acest domeniu, a fost convingător confirmat încă de la primul simpozion naţional de materiale magnetice organizat de ICPE în perioada 6—20 mai 1979. În cele ce urmează se vor prezenta succint cercetările Institutului de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică şi modul de valorificare industrială a lor.

Magneţii permanenţi metalici de tip Alnico (STAS 6822—83) se cercetează în trei tehnologii: turnaţi, aglomeraţi şi sinterizaţi. Magneţii turnaţi se realizează în structurile : a — izotropi şi b — anizotropi. Aceştia din urmă pot fi cu structură cristalină echiaxă sau cu structură cristalină columnară. Elementele de aliere, tehnologiile de tratament termic şi de uzinare sînt adaptate şi optimizate pentru asigurarea parametrilor ceruţi de proiectanţii beneficiarilor, cu care, de altfel, se colaborează strîns, din faza de concepţie pînă la omologarea produsului electrotehnic. Ca exemplu, magneţii cu structură cristalină columnară se obţin cu energii magnetice specifice de 7 — 8 MGsOe, fără titan şi 9—10 MGsOe, dacă se adaugă titan. În ultimii ani au fost omologate peste 40 tipovariante de magneţi Alnico turnaţi, cu aplicaţii la : servo- şi micromotoare, motoare de cuplu în c.c., generatoare şi tahogeneratoare, convertizoare, motoare liniare, motoare cu histerezis, vitezografe şi vitezometre, aparate de măsură de precizie, traductoare, separatoare magnetice, servovalve, difuzoare, cuplaje radiale ş.a. [1].

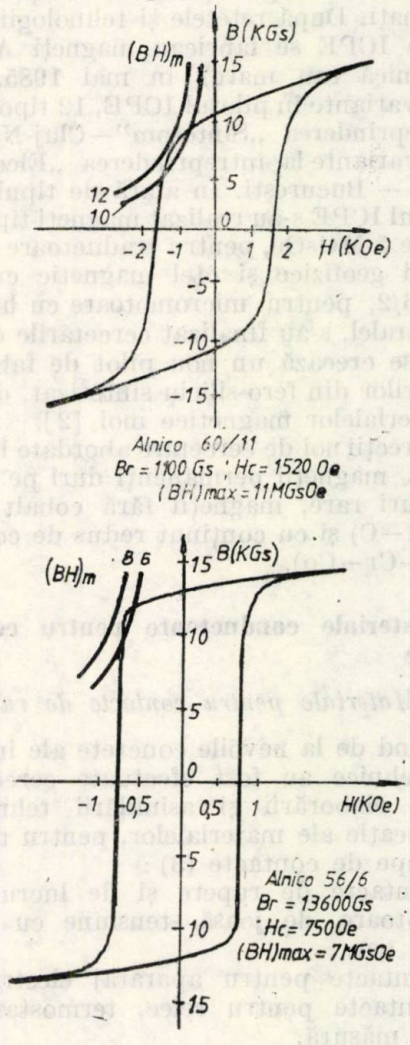


Fig. 1. Curbe de magnetizare trasate la hysterezisgraf şi curbele energiei specifice pentru 2 magneţi Alnico turnaţi.

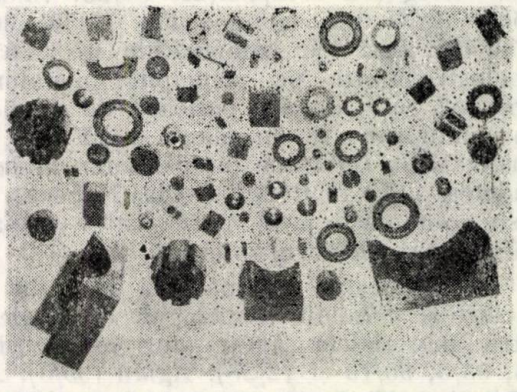


Fig. 2. Tipovariante de magneţi permanenţi realizaţi la ICPE

După tehnologia de aglomerare a fost realizat un tip de magnet permanent metalic pentru un vitezometru (cuplaj asincron). Tehnologia de

obținere a magneților permanenți Alnico sinterizați este în curs de cercetare; se urmărește reducerea consumurilor de metal și de energie, la nivele de energie specifică, comparabile cu cei turnați. După rețetele și tehnologiile cercetate de ICPE se fabricau magneți Alnico în serie (mică sau mare) în mai 1985, astfel: 20 tipovariante în pilotul ICPE, 12 tipovariante la întreprinderea „Sinterom"—Cluj-Napoca și 10 tipovariante la întreprinderea „Electromagnetica" — București. În afară de tipul Alnico, în pilotul ICPE s-au realizat magneți tip Ticonal 1 500 de 5 MGsOe, pentru traductoare de prospecțiuni geofizice și oțel magnetic cu cobalt Ni-Co 6/2, pentru micromotoare cu histerezis.

În paralel, s-au finalizat cercetările de material și se creează un nou pilot de fabricare a armăturilor din fero-siliciu sinterizat, din familia materialelor magnetice moi [2].

Ca direcții noi de cercetare abordate în ultimii ani sînt magneții permanenți duri pe bază de pămînturi rare, magneții fără cobalt (de tip Mn—Al—C) și cu conținut redus de cobalt (de tip Fe—Cr—Co).

2. Materiale conductoare pentru contacte electrice

2.1. Materiale pentru contacte de rupere

Pornind de la nevoile concrete ale industriei electrotehnice au fost efectuate cercetări, în vederea elaborării și asimilării tehnologiilor de fabricație ale materialelor, pentru următoarele grupe de contacte (3):

a. Contacte de rupere și de lucru pentru întreruptoare de joasă tensiune cu funcționare în aer.

b. Contacte pentru aparataj electric auto.

c. Contacte pentru relee, termostate, aparate de măsură.

Pentru prima grupă au fost cercetate și asimilate tehnologiile de fabricație pentru materialele WAg (cu compozițiile 80/20, 70/30 și 50/50), AgNi (cu compozițiile 70/30, 60/40 și 50/50), AgC (cu compozițiile 97/3, 95/5), tehnologii bazate pe principiile metalurgiei pulberilor, care, după o perioadă de verificare prin microproducție în piloții ICPE, au fost transferate în industrie (actualmente la întreprinderea „SINTEROM" — Cluj-Napoca). Aceste contacte se produc în cantități care acoperă integral necesarul intern.

Pentru grupa a doua și a treia au fost cercetate și asimilate tehnologiile de fabricație pentru materialele AgCu (cu compozițiile 97/3, 95/5, 90/10 și 72/28), AgMn (95/5), AgC (99,7/0,3), AgNi (90/10, 85/15, 80/20) sub formă de sîrmă, iar unele și sub formă de plăcuțe.

Primele două materiale se produc prin metodele metalurgiei clasice și au fost asimilate cu asistență ICPE la Monetăria statului; celelalte două se obțin prin extrudare la cald din lingouri sinterizate, îmbinînd procedeele metalurgiei pulberilor cu prelucrările plastice. Sîrmele se prelucrează sub formă de nituri de contact pe mașini automate. Fabricația acestor contacte este organizată la ICPE în regim de microproducție, acoperind necesarul intern.

S-a elaborat și asimilat, în regim de microproducție la ICPE, tehnologia de fabricație a benzilor de cupru, placate integral sau în piste îngropate cu argint, utilizate ca materie primă în fabricația de plăci de contact și de contacte profilate, pentru relee de telecomunicații (în curs de organizare la IEM).

În același regim a fost asimilată în urma cercetărilor întreprinse, tehnologia de fabricație a contactelor de AgCdO din amestec mecanic de Ag și CdO, prelucrat prin metodele metalurgiei pulberilor, (microproducție ICPE).

Au fost elaborate și asimilate tehnologii de fabricație pentru AgNi și AgCdO ce pornesc de la amestecuri ale componenților, obținute prin coprecipitare din săruri, tehnologii aparent mai complexe dar care conduc la obținerea unor materiale cu dispersie fină, caracterizate printr-o rezistență înaltă la uzură electrică sub sarcină.

Fabricația organizată în piloții ICPE în regim de microproducție este caracterizată de buna calitate a contactelor realizate, de economisirea unor importante cantități de Ag, față de cele normate, de înnoirea continuă a produselor.

Activitatea de cercetare continuată, în paralel cu fabricația de materiale de contact, are ca scop dezvoltarea unor materiale de contact cu caracteristici funcționale îmbunătățite, de tipul Ag—MeO (unde MeO = ZnO, CuO, SnO_2, NiO), Ag—Ni—C, Ag—Ni—Fe, dezvoltarea materialelor de contact pentru aparatajul de

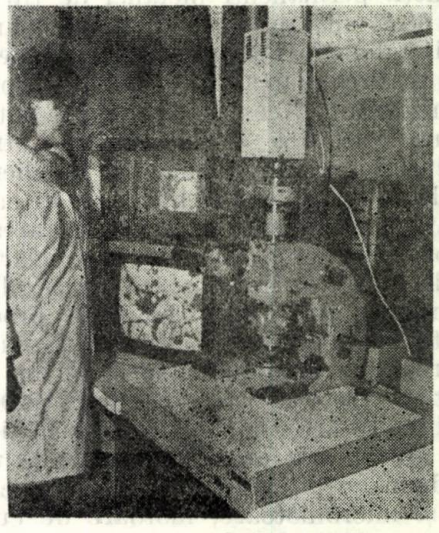


Fig. 3. Instalație TV în circuit închis aplicată la microscopul optic pentru analiza cantitativă a structurilor.

comutație cu funcționare în vid, elaborarea și asimilarea tehnologiilor de fabricație a aliajelor grele de tipul W—Ni—Cu cu aplicații în comutația în medie tensiune, în distribuitoarele de aprindere auto, în tehnica nucleară, elaborarea și asimilarea în fabricație a unor utilaje specializate. O altă temă abordată este asimilarea aliajului placat argint—paladiu pe suport de bronz elastic pentru contactele din componența centralei telefonice automate.

2.2. *Materiale pentru periile mașinilor electrice*

Această familie de materiale îndeplinește rolul de contacte alunecătoare și joacă, în special la mașinile de c.c., un rol important în buna comutație [4].

Cercetările de materiale cărbunoase pentru perii, inițiate în anii '50, au marcat o creștere începînd din anul 1968 prin construirea unui cuptor de electrografitare și s-au dezvoltat continuu după 1977 cînd, prin planul de stat, s-au cuprins în programe de cercetare toate cerințele industriei de mașini electrice, ca și ale parcului național de mașini existente în dotări [5]. S-au cercetat și omologat 36 mărci de material din grupele : electrografit, cupru-grafit, carbon-dur, bachelit-grafit și argint-grafit. Prin atestarea fiecărui semifabricat se garantează o seamă de parametri ca : rezistivitate, duritate, rezistență mecanică la încovoiere, cădere de tensiune pe o pereche de contacte, coeficientul de frecare și densitatea de curent în regim de durată.

Toate mărcile se fabrică în regim de microproducție pe pilotul ICPE ; mărcile cupru—grafit și bachelit—grafit au început a se fabrica și pe pilotul industrial realizat la Intreprinderea de ferite Urziceni cu contribuția ICPE (și unde a început construirea unei noi unități de producție industrială, pe baza tehnologiilor elaborate de ICPE), iar unele mărci destinate echipamentelor auto s-au asimilat la secția de perii a Intreprinderii de mașini electrice — București.

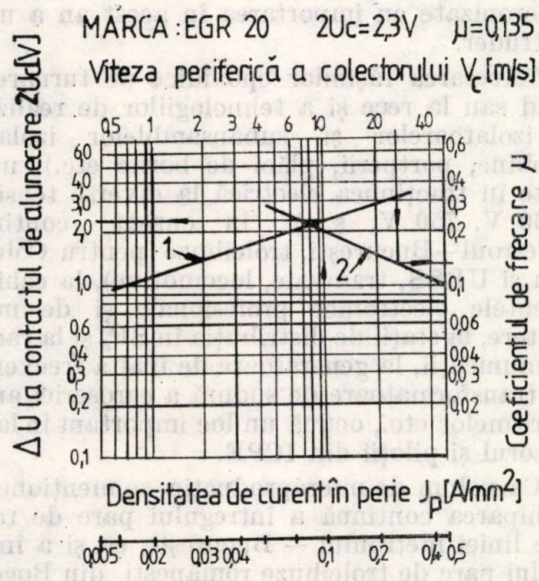


Fig. 4. Caracteristicile de funcționare a periei din electrografit românesc marca EGR-20 : *1* — căderea de tensiune la două contacte $2Uc = f(Jp)$; *2* — coeficientul de frecare $\mu = f(Vc)$.

Cercetările de materiale cărbunoase au migrat și în aplicații neelectrotehnice, ca de exemplu : garniturile de etanșare pentru motoare termice și în industria chimică, poziționere tehnologice în fabricarea carburilor metalice și a dispozitivelor semiconductoare de putere, lagăre de fricțiune ș.a. Adaptarea unor rețete și tehnologii pentru elemente de fricțiune au comportat cercetări de tribologie efectuate în colaborare cu Institutul politehnic — București, cercetări de coroziune ș.a. Materialele cărbunoase pentru garniturile de etanșare sînt în curs de asimilare industrială la Intreprinderea de matrițe și piese din fontă din Odorheiul Secuiesc, unde s-a creat o linie tehnologică în acest scop.

Ca direcții noi de cercetare sînt : electrografitul de înaltă puritate, destinat electrozilor masivi de tăiere a metalelor prin electroeroziune, perii pentru servomașini aerospațiale, pulberi pentru capsule telefonice ș.a.

3. Materiale electroizolante

Cercetările în laboratoarele noastre sînt direcționate spre electroizolanții solizi (organici și anorganici), precum și spre realizarea de materiale compozite, izolatoare și treceri izolante, pentru aplicații generale sau speciale, în construcția diverselor produse electrotehnice și echipamente electrotehnologice noi.

3.1. Dielectrici organici

Ca nivel tehnic, astăzi se apropie finalizarea cercetării de bază a materialelor electroizolante organice (după clasificarea didactică) corespunzătoare clasei de izolație F (155°C).

Ultimele materiale cercetate de ICPE, cu largă aplicabilitate în izolarea mașinilor electrice de clasă F, care concretizează eforturile noastre și ale unităților colaboratoare sînt :

— izolațiile combinate flexibile pe bază de folie și hîrtie poliesterică impregnate cu o rășină de clasă F post-bobinaj (marca ICN—Term, grosimea 0,20—0,30 mm și $U\ str. = 12—15$ kV).

Propunerea de a se experimenta fabricarea unor hîrtii din fibre sintetice în suspensie, pe o mașină de hîrtie celulozică și apoi adezivarea lor pe folii poliesterice românești și impregnarea cu lacuri electroizolante cu stabilitate termică ridicată a fost pusă în discuția specia-

lîştilor din industria de papetărie într-o comunicare prezentată la primul simpozion de chimia şi tehnologia celulozei (Suceava, 1971). Ulterior, cercetătorii de la Institutul de chimie macromoleculară„ Petre Poni" din Iaşi, sub conducerea acad. prof. Cristofor Simionescu, au abordat un program complex privind hîrtiile sintetice. Într-un spirit de colegialitate exemplară, au fost cooptaţi în echipa de cercetare şi specialiştii de la ICPE, pentru ample caracterizări tehnice şi electrofizice [6] şi probe tehnologice comune semiindustriale în fabricile de maşini electrice. Intreprinderea de cabluri şi materiale electroizolante — Bucureşti, I.C.M.E, a realizat apoi o linie tehnologică pe care în 1984 s-au omologat loturile-prototip şi serie de fabricaţie [7].

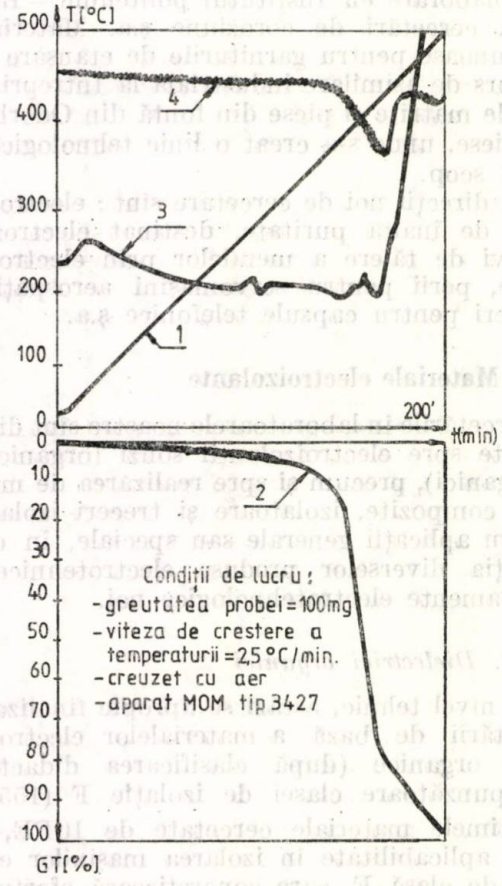


Fig. 5. Analiza accelerată în derivatograf a izolaţiei combinate de clasă F : *1* — variaţia temperaturii în creuzet (*T*) ; *2* — pierderea în greutate a materialului (*TG*) ; *3* — variaţia termodiferenţială a entalpiei materialului (DTA) ; *4* — viteza variaţiei greutăţii (DTG).

Aceleaşi izolaţii, dar impregnate după caşerare cu o răşină poliimidică (marca ICI—Term) sînt omologate pe pilot şi urmează a fi puse în fabricaţie la ICPE în 1986 după realizarea la „Electrotimiş" a unei instalaţii de caşerare, impregnare-calibrare în flux. Se continuă cercetările tehnologice pentru utilizarea lor mai productivă pe maşinile automate de bobinat motoarele electrice.

— Lacuri electroizolante fără crezol pentru emailarea conductoarelor rotunde de cupru, în curs de asimilare la I.C.M.E. şi Intreprinderea de conductoare electrice emailate — ICEE — Zalău.

— Lac de impregnare de clasă F pe bază de răşini alchidice, fenolice şi epoxidice (marca 5279 Ez) în asimilare la întreprinderea „Policolor" Bucureşti.

— Adezivi şi tipuri pentru maşini electrice, asimilate în ICPE.

— Benzi din răşină poliesterică armată cu fibre de sticlă indigene pentru fretarea rotoarelor maşinilor electrice şi a transformatoarelor, avînd rezistenţa la tracţiune de minimum 10 000 daN/cm^2, stabilitatea Martens 220°C, lăţimea 30 mm [8], fabricate din 1984 la ICME pe o linie tehnologică proiectată şi livrată de ICPE.

— Lacuri şi ţesătură din fire de sticlă indigenă impregnată în răşini epoxidice, pentru izolarea înfăşurărilor cu conductoare lamelare ştanţate, ale rotoarelor motoarelor şi tahogeneratoarelor cu întrefier axial, ca şi pentru consolidarea polilor pe jugul statoric.

Asimilarea materialelor pentru *clasa de izolaţie H (180° C)* a debutat cu lacuri cu conţinut redus de crezol pentru emailarea conductoarelor rotunde de cupru, puse în fabricaţie la ICEE — Zalău în 1984. Reţetele aplicate de ICPE la ICEE — Zalău, pe lîngă faptul că au redus importul de materii prime, au şi efecte salutare pe linia ecologiei tehnologice. Cercetarea conductoarelor mono şi multifilare izolate cu tetrafluoretilenă a început recent în laboratorul de cabluri şi sisteme de izolaţie, sincronizate cu importarea în acest an a unui extruder.

Cercetarea răşinilor epoxidice de turnare la cald sau la rece şi a tehnologiilor de realizare a izolatoarelor şi subansamblelor izolante (bobine, portperii, plăci de borne etc.), utilizate în tracţiunea electrică la diverse tensiuni (660 V, 750 V, ş.a.) în curent continuu (Metroul—Bucureşti, troleibuze pentru Columbia şi URSS, tramvaie, locomotive), la echipamentele electronice profesionale şi de mare putere, la staţii de distribuţia în SF_6 şi la radiocomunicaţii, la generatoare de înaltă frecvenţă, la transformatoare de sudură a caroseriei autoturismelor etc., ocupă un loc important în laboratorul şi piloţii din ICPE.

Ca volum de microproducţie se menţionează echiparea continuă a întregului parc de rame ale liniei metroului — Bucureşti, ca şi a întregului parc de troleibuze româneşti din Bogota, capitala Columbiei, cu izolatoare în răşini de turnare, executate în piloţii din două laboratoare ale ICPE. După o altă tehnologie şi pe

o altă linie tehnologică concepută de „specialiștii din ICPE și realizată în colaborare cu întreprinderea „Electromagnetica" s-au cercetat și omologat cilindrii electroizolanți rulați avînd grosimea peretelui de 4,6 mm, diametrul interior 30,8 mm și lungimi pînă la 645 mm, rigiditatea dielectrică de 12 kV/mm, putînd funcționa între —40°C și 130°C, din țesătură din fire de sticlă impregnată în rășini epoxidice, destinați inductoarelor de cale ferată și metrou.

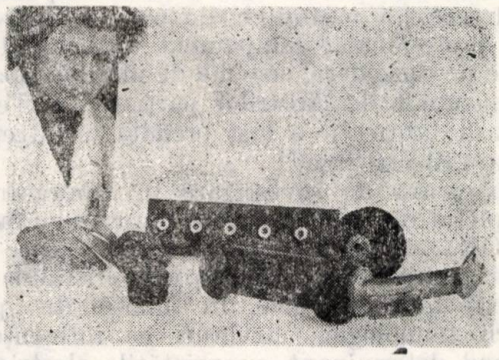


Fig. 6. Izolatoare din rășini epoxi turnate, pentru rama metrou.

Repere similare, dar de dimensiuni foarte mici, au fost asimilate și pentru servomotorul camerei de luat vederi TV. Pentru fiecare clasă de tensiune și frecvență, limite de temperatură, mediu climatic sau grade de poluare în funcționare, cercetătorii de material, într-o strînsă conlucrare cu colegii lor din laboatoarele de caracterizări de materiale și cercetări climatice, asigură parametrii impuși de beneficiari (inclusiv rezistența mărită la curenții de scurgere, la arcul electric, la gerul polar, la agenți corozivi).

Printre preocupările mai noi ale laboratorului de izolanți organici se află: izolatoarele pentru generatoare de cîmpuri magnetice ultraînalte, izolatoarele de trecere de tip condensator pentru transformatoare și stații de 220 kV—400 kV, rășini, lacuri și tehnologii pentru înnobilarea și mărirea rezistenței la flacără a lemnului stratificat densificat pentru transformatoare în ulei. Privitor la înnobilarea materialelor ce se fabrică în cadrul MILMC, în anul 1984 s-a încheiat, în linii mari, asimilarea în industria de papetărie a unui foarte mare sortiment de hîrtie și carton pentru electrotehnică (cabluri de forță și de telecomunicații, transformatoare în ulei, baterii galvanice).

În baza unor programe de cercetare, desfășurate timp de cîțiva ani de ICPE și ICPCH pe linia caracterizărilor electrofizice în laborator, a perfecționărilor tehnologice și omologărilor în comun s-au valorificat superior hîrtiile românești. Mai sînt încă pe agenda cercetătorilor, barierele de potențial celulozice mulate pentru izolarea transformatoarelor de înaltă tensiune, hîrtiile de lățime foarte mare și porozitate adecvată pentru izolatoarele de tip condensator în T.T.I. și alte cîteva. Este poate exemplul cel mai concludent privind rodul unor asemenea colaborări interdisciplinare în cercetarea de material electrotehnic. Cercetări complexe se desfășoară în laboratoarele de izolanți organici și de cabluri și sisteme de izolație, pentru izolarea conductoarelor de bobinaj destinate motoarelor submersibile de clasă F, de tip tubular pentru pomparea țițeiului și apelor geotermale.

3.2. Materiale pulverulente

Un colectiv tînăr de cercetare (desprins în 1984 din laboratorul de cabluri și sisteme de izolație) a dezvoltat în ultimii ani fructuoase cercetări, finalizate prin asimilarea unor materiale pulverulente pentru aplicațiile industriale ale electrostaticii (copierea și pudrarea în cîmp electrostatic), izolarea peliculară a crestăturilor mașinilor electrice de joasă tensiune, ca și la izolarea anticorozivă a diverselor componente electrice și electronice [9].

Sortimentele omologate și puse în fabricație într-un pilot al ICPE asigură indici de temperatură superiori clasei B de izolație și o rigiditate dielectrică 30 kV/mm (și după condiționare 240 ore în apă); sînt asimilate de același colectiv și materiale lichide (toner și developer) pentru mașini electrostatice de copiat utilizînd hîrtii cu oxid de zinc.

* * *

Miniaturizarea cablajelor electrice în tehnica de calcul electronic, în elementele de automatizare și echipamentele electrice auto, reducerea consumurilor de materiale, creșterea productivității muncii (în fabricație, montaj și service), mărirea fiabilității circuitelor electrice, au condus la crearea în ICPE a cablajelor din circuite imprimate pe suport izolant flexibil. Realizate din folie de cupru gros de 35 μm adezivată pe folia de polietileneflatat gros 100 și 50 μm (fabricat CFS Iași), circuitele permit o

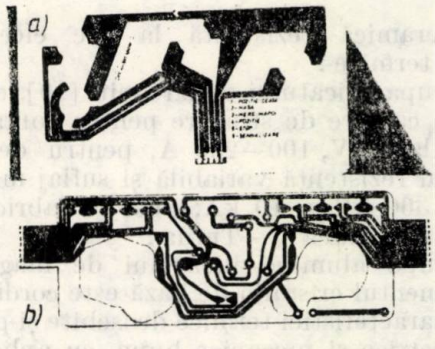


Fig. 7. Circuite imprimate flexibile pentru autoturismul DACIA: a — lămpile de semnalizare spate; b — tabloul de bord.

încărcare electrică de 20 A/mmp la 60 V c.c. şi 220 V c.a. Aderenţa cuprului la suportul flexibil depăşeşte 500 N/m. Materialele sînt omologate şi puse în fabricaţie la IPRS — Băneasa.

Montajul circuitelor se realizează cu ajutorul ciocanelor electrice de lipit termostatate, de 35 W, asimilate de filiala ICPE de la Iaşi.

O bază tehnologică adecvată cercetării acestui material compozit a fost amenajată în laboratorul de izolanţi organici, iar testările au fost realizate într-o continuă şi fructoasă colaborare cu întreprinderile beneficiare. Realizarea aceasta este una din multele exemple ce probează caracterul multidisciplinar al cercetării de material electrotehnic din ICPE.

3.3. Materiale electroceramice

Dintre materialele electroizolante anorganice, ceramicele au fost cercetate încă de la începuturile activităţii ICPE. Cu deosebire după 1968, direcţiile de cercetare a electroceramicii au fost orientate către aplicaţii în produsele noi electrotehnice şi electronice, în timp ce izolatoarele pentru transportul şi distribuţia energiei electrice, (înaltă şi joasă tensiune) au fost preluate treptat de compartimentele de cercetare de la „Electroceramica" Turda. Laboratorul de izolanţi al ICPE cercetează mase ceramice şi componente pe care le realizează în regim de microproducţie pe pilot şi predă documentaţii tehnologice fabricilor de profil astfel:

a. Ceramică de înaltă frecvenţă, pe bază de steatit, avînd $\varepsilon = 6-7$, $\operatorname{tg}\delta = \max\ 3 \cdot 10^{-3}$ la 1 MHz şi $\rho_v = \min\ 10^{12}$ ohm—cm, cu aplicaţii la izolatoare pentru radiofrecvenţe (90 MHz), la condensatoare pentru generatoare de înaltă frecvenţă, dar şi la elemente de înlocuire a siguranţelor fuzibile tubulare la 50 Hz, 500 V, 1—100 A, (avînd $E = 20$ kV/mm şi proprietăţi mecanice bune), la izolatoare suport pînă la 40 kV ş.a.

Documentaţia pentru fabricaţia de masă a siguranţelor fuzibile tubulare MPR la IAEJT — Tîrgu Secuiesc a fost livrată integral de ICPE.

b. Ceramică rezistentă la arc electric şi şocuri termice:

— grupa silicatului de zirconiu [10], cu aplicaţii la camere de stingere pentru contactoare în aer la 6 kV, 100—200 A, pentru descărcătoare cu rezistenţă variabilă şi suflaj magnetic la 33—360 kV şi 10 kA, puse în fabricaţie la „Electroceramica" — Turda;

— grupa alumino-silicatului de magneziu (componentul cristalin de bază este cordieritul), avînd caracteristici termice deosebite şi proprietăţi electrice şi mecanice bune, cu aplicaţii la camere de stingere de joasă tensiune c.c. (pînă la 1 000 V), siguranţe fuzibile etc.;

c. Materiale ceramice piezoelectrice pe bază de titanat de bariu şi pe bază de titanat zirconat de plumb, omologate şi valorificate prin microproducţie. Ingineria tehnologică a reperelor din aceste materiale este deosebit de laborioasă, comportînd utilaje specializate de mare tehnicitate (prese automate, maşini de rectificat de mare precizie, scule diamantate etc.). Aplicaţiile preferenţiale ale acestor mase sînt: traductoare de vibraţii, palpatoare pentru controlul nedistructiv cu ultrasunete, sisteme de detecţie a variaţiilor de presiune, electronică profesională, echipament medical, dispozitive de aprindere, sisteme de alarmă, aparate de măsură a descărcărilor parţiale ş.a. Tehnologia de fabricaţie a fost predată la întreprinderea „Electroargeş".

Aparatura de investigare în laborator s-a completat recent cu un difractometru cu raze X (DRON). Această tehnică de investigare permite cunoaşterea structurilor cristaline ale materilelor nemetalice, în funcţie de parametrii tehnologici, structuri ce influenţează, în mod determinant, proprietăţile electrice de material.

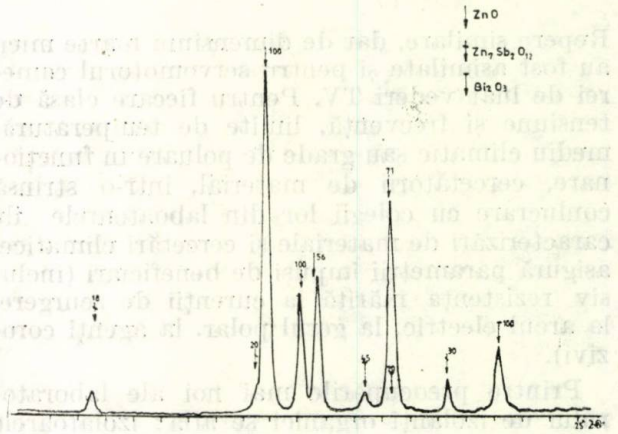


Fig. 8. Difractograma unei ceramici cu rezistenţă neliniară pe bază de ZnO.

Dotările tehnologice (pentru tratamente pînă la 1 800 °C, pentru tehnologiile de extrudere a pieselor de geometrii complicate) sînt în desfăşurare. Ca direcţii noi de cercetare în domeniu sînt: materiale ceramice pe bază de ZnO, şi alţi oxizi metalici dopanţi, avînd caracteristica $U-I$ puternic neliniară ($\alpha = 25-40$), cu aplicaţii în dispozitivele de protecţie împotriva supratensiunilor atmosferice şi de comutaţie; suport catalizator tip fagure, pentru conversia gazelor de eşapament la autoturisme; materiale pentru conversia MHD; corpuri ceramice cu înalţi parametri termomecanici, pentru siguranţe fuzibile MPR ultrarapide în c.a. şi în c.c., la tensiuni peste 1 200 V; optimizarea tehnologiilor; încercări funcţionale prin metode simulative. O parte din cercetările tehnologice se desfăşoară la filiala ICPE din oraşul

Sf. Gheorghe, înființată în 1985, precum și în colaborare cu întreprinderile IAEJT — Tg. Secuiesc, „Electroceramica" — Turda și „Sinterom" — Cluj-Napoca (pentru ceramici superaluminoase).

3.4 Treceri izolate

În unele aplicații industriale moderne, materialele electroizolante rigide livrate separat nu reușesc să satisfacă exigențele de montaj ale utilizatorilor. Exemple reprezentative sînt tehnica vidului și utilajele pentru electrotehnologii. Ca atare, s-a impus realizarea în fabrici, prin procedee specializate, a unor subansamble, cu joncțiuni, care de care mai sofisticate, cunoscute sub denumirea de treceri izolate. Cercetările acestora în ICPE s-au dezvoltat pas cu pas pe lîngă domeniul materialelor electroceramice, îmbrățișînd, însă, noi problematici multidisciplinare, la a căror rezolvare cercetătorii fizicieni, metalurgiști, chimiști și electrotehniști se află într-un dialog lucrativ permanent, iar ingineria tehnologică și baza materială joacă un rol hotărîtor.

Pentru instalațiile de aluminizare în vid de 10^{-3} Pa a oglinzilor plane, s-au asimilat două tipuri de treceri izolate:

— trecerea de tensiune 5 kV și 3A în c.c., probată la tensiunea de ținere de 13 kV și cu o neetanșeitate maximă admisibilă de 10^{-9}. Pa. mc/s pentru sursa de curățire a suprafeței, și,

— trecerea de curent de 1 000 A, 24 V în c.a., răcită cu apă prin interior, probată la tensiunea de ținere 2,5 kV, avînd rezistența de izolație 2.10^7 ohm, etanșeitatea la apă minimum 2.10^5 Pa.mc./s (probate cu detectori de He), pentru sursa de topire și vaporizare Al.

Au fost cercetate aici, de asemenea, probleme deosebite, ca de exemplu, dimensionarea izolației pentru vid, alegerea și dimensionarea materialelor cu funcții electroizolante și de etanșare la vid, tehnologii de control și de mecanică extrafină, măsuri neelectrice. Produsele se execută în secția de prototipuri a ICPE și se încearcă în colaborare cu IFIN.

Pentru agregatul motor—compresor al frigiderelor cu freon s-au asimilat borne tripolare cu joncțiuni metal-sticlă, la parametrii: 250 V, 6 A, rezistența de izolație 2.10^9 ohm, tensiunea de ținere 2,5 kV, etanșeitatea la gaz 35.10^5 Pa, și neetanșeitatea maximă admisibilă la vid 10^{-13} Pa.mc/s [11]. Produsele se fabrică la întreprinderea „Steaua electrică" — Fieni.

Fabricarea în țara noastră a izolatoarelor energetice de tip capă—tijă, din sticlă călită, s-a asimilat pe baza unei colaborări economice cu URSS. Tehnologia de armare și standul de încercare la străpungere a produselor finite au fost cercetate și livrate de ICPE. Colectivul de treceri izolate a preluat rolul de coordonator tehnic al noii fabrici de izolatoare de la Botoșani, asigurînd, cu o remarcabilă competență, asimilarea a 6 tipodimensiuni de izolatoare armate (cu sarcini de rupere între 6—16.10^4N) și integrarea în fabricație a tuturor componentelor și materialelor de armare.

Printre preocupările actuale în dezvoltarea domeniului de cercetare a trecerilor se află: trecerile izolate pentru contactoare cu comutație în vid, treceri izolate pentru magnetroane cu emisie continuă, treceri izolate pentru aparatură de investigare geofizică, tuburi ceramice pentru diode de microunde ș.a.

4. Sisteme de izolație și cabluri electrice

4.1. Conceptul de clasă de izolație, definit prin pubicația CEI Nr. 85—1957 a evoluat în ultimii 15 ani ca rod al activității comitetului de studii CEI Nr. 63. Și pe linie CAER s-a elaborat standardul Nr. 4127—1983. În ICPE este în vigoare STAS 10514/1—1976: „Materiale izolante solide. Determinarea stabilității termice", care corespunde publicației CEI Nr. 216/1—1974.

Fără a se abandona temperaturile claselor de izolație, a fost din ce în ce mai mult acreditat conceptul de indice de stabilitate termică definit ca temperatura de funcționare a materialelor la o durată normată de serviciu de 20 000 ore.

În ICPE, anul 1967 a marcat organizarea unui laborator distinct de cercetare a sistemelor de izolație pentru mașini electrice. În funcție de evoluția cercetării în institut a noilor serii unitare de mașini electrice, ca și de evoluția organizatorică internă, astăzi laboratorul are profilul de cercetare a sistemelor de izolație pentru mașini de joasă tensiune, transformatoare și cabluri electrice (acestea din urmă îmbrățișînd și concepția și realizarea tipurilor speciale). Cu preocupări continue, deși inegale, laboratorul și-a creat o bază materială și o metodologie avansată de cercetare și atestare a claselor de izolație pentru orice material nou ce se asimilează în țară (atît de către laboratorul de izolanți organici din ICPE, cît și de către ICME sau CCPAL, respectiv fabricile din cadrul MICh). Metodologia de atestare a stabilității termice a clasei de izolație constă (conf. STAS) în măsurarea pierderilor de masă și a reducerii rigidității electrice, ca și a proprietăților mecanice, în funcție de timpul de expunere în etuvă la temperaturi de 170°C, 190° C și 210° C (pentru clasa F) și apoi determinarea indicelui de temperatură prin metoda statistică și extrapolare grafică.

S-au inițiat cercetări în laborator ale descărcărilor parțiale în modele de sisteme de izolație pentru mașini electrice de medie tensiune [12] și cercetarea comportării la radiații a unor sisteme de izolație [13].

Cercetările actuale ale clasei de izolaţie în ICPE urmăresc realizarea clasei H (180° C), alcătuită din ţesătură şi stratificat din fire de sticlă cu lac de impregnare, bazat pe răşină bismaleidică, şi conductoare emailate cu lac,

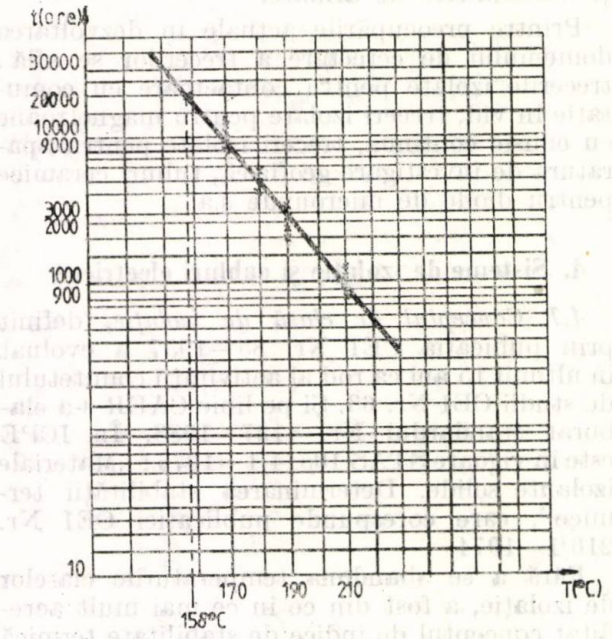


Fig. 9. Determinarea duratei de viaţă prin criteriul pierderii masice la un lac de impregnare de clasă F.

bazat pe anhidridă piromelitică (ambele lacuri fiind cercetate în faza de laborator în institutul „Petre Poni" din Iaşi), cu aplicaţii la motoarele cu rotor-disc. În asociere cu activităţile de cercetare a sistemelor de izolaţie, specialiştii laboratorului au proiectat şi realizat unele tipuri de transformatoare şi maşini electrice ale căror sisteme de izolaţie comportă dificultăţi deosebite, ca de exemplu, transformatoare cu bobinaje de tip antirezonant pentru standuri de încercări, transformatoare de impuls de tensiune, motoare electrice ecranate pentru pompe de căldură, generatoare pentru conversia energiei valurilor ş.a. În 1985 s-au început, în colaborare cu ICSIT—EP, ICME şi IPP — Iaşi, elaborarea unor sisteme de izolaţie de clasă H pentru motoare de locomotive.

4.2. Cercetarea cablurilor se desfăşoară în strînsă colaborare cu întreprinderile ICME-Bucureşti şi „Electromureş". Deşi în institut nu s-a putut crea o bază tehnologică proprie, cercetătorii acestuia au reuşit să elaboreze soluţii constructive, să proiecteze, să execute pe liniile de fabricaţie şi să omologheze în ultimii ani cabluri pentru aplicaţii din ce în ce mai variate, dintre care: cablurile armate pentru alimentarea motopompelor submersibile în ţiţei, cablul de joasă impedanţă şi tresele flexibile pentru transformatoarele de sudură a caroseriei auto, cablul de carotaj şi bretele geofoni pentru prospecţiuni geofizice.

Printre noile direcţii de cercetare ale laboratorului se află şi cablurile de telecomunicaţii cu fibre optice.

5. Crioelectrotehnica

În cadrul programelor naţionale de reducere a consumurilor de materiale, energie şi combustibil, promovate şi coordonate la scară naţională de Consiliul Naţional pentru Ştiinţă şi Tehnologie sub conducerea tovarăşei acad. dr. ing. Elena Ceauşescu, ICPE a fost desemnat coordonator al programului de cercetări „Crioelectrotehnica". În timpul ultimului deceniu, programul a fost finanţat cu generozitate de CNST. ICPE, împreună cu o largă reţea de unităţi de cercetare şi cadre din învăţămîntul politehnic şi universitar desfăşoară o gamă largă de cercetări teoretice fundamentale şi aplicative privind bazele fizicii temperaturilor joase, materialele criogenice, tehnologiile lor şi metodele de măsură, utilajele de asigurare criogenică şi produsele crioelectrotehnice ale viitorului. În cadrul acestui program, o întreagă gamă de materiale electrotehnice, metale şi aliaje, izolatoare terminale şi subansamble electro- şi termoizolante sînt cercetate şi atestate la temperaturi joase, între 4,2°K şi 293°K. A fost creată în acest scop, prin forţele proprii ale unităţilor colaboratoare la program, baza tehnico-materială de cercetare, formată din: criostate în diverse tipovariante, surse electrice stabilizate, un larg sortiment de aparate electronice de măsură de precizie, traductoare, standuri spe-

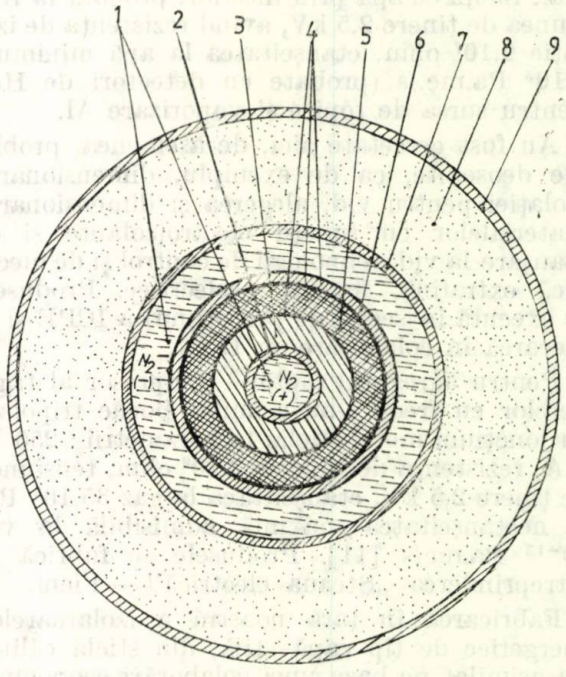


Fig. 10. Cablul criorezistiv monofazat 20 kV realizat în RSR: *1* — canale cu azot lichid; *2* — suport mecanic; *3* — conductori; *4* — bandă semiconductoare; *5* — izolaţie electrică; *6* — ecran; *7* — ţeavă interioară; *8* — izolaţie termică; *9* — ţeavă exterioară;

cializate, instalaţii de asigurare criogenică, vase Dewar pentru azot şi heliu lichid, noi materiale criorezistive şi supraconductoare, electromagneţi supraconductori de laborator, un criotransformator ş.a. Recent, ICPE în colaborare cu ICME—Bucureşti a realizat şi pus pe standul de încercări un tronson de cablu criorezistiv monofazat de 20 kV. Acesta însumează pe lîngă, concluziile cercetărilor teoretice de fenomene [14] şi un număr de materiale noi destinate a funcţiona la temperatura azotului lichid (77°K).

Pentru conductoarele criorezistive s-au cercetat două tehnologii de material : a — aluminiu de înaltă puritate 4 N (Al 9999) elaborat de IAMN prin tehnologia de topire zonală şi recoacere după trefilare. Firul conductor, testat la IFTM are rezistivitatea reziduală la 4,2°K de 4,8 n.ohm.cm şi raportul rezistenţei reziduale RRR = 556 ; b — aluminiul de puritate 3 N (Al 999) elaborat de IPA—Slatina prin electroliză şi trefilare. Acest sortiment are rezistivitatea reziduală la 4,2 °K de 50 n.ohm.cm şi raportul RRR = 60 [15].

Cercetările tehnologice de materiale supraconductoare sînt orientate de laboratoarele din program înspre NbTi, Nb_3Sn, Nb_3Ge, şi $PbMo_6S_8$ [16]. Pe linia cercetărilor noi fundamentale de aparate, au fost elaborate şi joncţiunile de tip Josephson cu aplicabilitate în metrologie, medicină ş.a. Pe linia cercetărilor aplicative, colectivul de crioelectrotehnică, organizat la finele anului 1984 ca laborator independent, urmăreşte realizarea unei maşini electrice unipolare de mare intensitate cu bobinaj supraconductor, a unor noi crioelectromagneţi cu cîmpuri intense şi a unei instalaţii de recuperare şi separare a materialelor deficitare prin criotehnologie.

Fizicienii şi inginerii din acest colectiv tînăr participă activ cu comunicări şi rapoarte la manifestările ştiinţifice din ţară şi străinătate în cadrul programului comun de cercetări al CAER. Unii dintre ei urmează doctoratul în acest domeniu.

6. Unele cercetări multidisciplinare de material integrate în laboratoarele electrotehnice din ICPE

Unele cercetări de material se dezvoltă şi de către nuclee de cercetători integrate în laboratoarele de produse electrotehnice noi. Astfel, de exemplu, în laboratorul de electrostatică, pe lîngă colectivul de maşini de copiat, cercetătorii de material au asimilat unele materiale specifice ca : seturi de regenerare a tamburilor fotosensibili cu seleniu (formate din : lichid de spălare, pastă de prelustruit şi emulsie de lustruit) pigment fluorescent (lumogen) sub excitare cu radiaţii ultraviolete, pentru marcarea efectelor poştale şi perii de ştergere, pentru tamburi cu seleniu.

În cadrul colectivului de control nedistructiv, nucleul de cercetători de material a asimilat revelatori magnetici fluorescenţi, pentru controlul defectoscopic. În cadrul colectivului de acceleratori, nucleul de cercetători de material a asimilat : benzi adezive obţinute prin polimerizarea unor monomeri acrilici sub acţiunea electronilor acceleraţi, pe suport polietilentereftalat, conductori cu izolaţie din polietilenă reticulată prin iradiere cu fascicule cu electroni accelerati, tuburi termocontractabile din polietilenă aditivată reticulată prin iradiere cu electroni accelerati. Toate aceste materiale sînt omologate şi se fabrică în piloţii laboratorului de electrostatică.

În laboratorul de conversie a energiei solare se cercetează siliciul policristalin pentru celule fotovoltaice, materiale semiconductoare în straturi subţiri şi plachete din ceramică aluminoasă, pentru circuite de putere cu structură compactă.

În laboratorul de aparataj de joasă tensiune se cercetează nisipurile de cuarţ ; influenţa impurităţii, formei şi dimensiunilor, a tehnologiilor de umplere combinate cu proprietăţile termomecanice ale materialelor ceramice, asupra performanţelor siguranţelor fuzibile.

Cercetătorii din asemenea colective integrate participă activ la manifestările ştiinţifice, în publicistică şi la brevetări, ca şi cercetătorii de material din laboratoarele de profil. Rezultatele muncii lor se regăsesc în graficele sintetice de creativitate ce ilustrează această comunicare.

7. Cercetări climatice

Cercetările climatice ale produselor electrotehnice şi neelectrotehnice se desfăşoară într-un laborator specializat făcînd parte din compartimentele de atestare a calităţii, cu competenţă republicană ; compartimentul se află sub coordonarea directorului ICPE. Activitatea acestui laborator constă în expertizarea proiectelor de produse climatice, avizarea anexelor climatice ale NTR, încercarea produselor în camere climatice, cercetarea complexă a acoperirilor de protecţie şi a materialelor pentru toate condiţiile climatice de pe glob (temperatură, umiditate, altitudine, agenţi corozivi, radiaţii ultraviolete, ciuperci şi microorganisme) şi elaborarea de prescripţii tehnice de utilizare corectă a materialelor şi de implementare a tehnologiilor adecvate. În esenţă, specialiştii acestui compartiment, ca şi specialiştii în materiale din secţia de cercetare şi atestare a calităţii produselor, desfăşoară şi cercetări de material din cele mai complexe, deşi nu au în sarcină şi asimilarea lor.

În unele cazuri cercetările lor se materializează şi în dotări de laborator specifice domeniului, ca : staţii experimentale în climat marin, alpin, mediu industrial puternic poluat, minier, radiaţii solare, sau instalaţii tehnologice perfecţionate de realizare a acoperirilor metalice de protecţie, în raport optim cu scara potenţialelor

electrochimice. Pe o astfel de instalație specialiștii au asimilat în regim de microproducție sîrmă de cupru argintat pentru conectoare utilizate în industria electronică și de automatizări (de diametru 1 mm, cu trei clase de grosimi ale stratului de argint, avînd toleranțe foarte precise la grosime). De aceea, în unele diagrame din capitolele 8, 9 și 10, s-au adăugat și potențialul material și uman al laboratorului de climatizări și contribuțiile la creația științifică a tuturor cercetătorilor de material din ICPE.

8. Dezvoltarea bazei tehnico-materiale a cercetării

În ultimii 10 ani laboratoarele cu profil de cercetare a materialelor electrotehnice au primit însemnate fonduri de investiții din partea statului. Ca urmare, în anii 1976—1978 au fost construite și dotate noile laboratoare de cercetare și microproducție pentru materiale anorganice. În anii 1981—1984 s-au reconstruit laboratoarele de cercetare și microproducție a materialelor organice. În același timp, s-au reconstruit și dotat laboratorul de cercetări climatice și secția de cercetare a calității, cu aparatură de investigare de vîrf, ca de exemplu, microscopul electronic, spectrofotometrul cu infraroșu cu stație de date și videodisplay, difractometrul cu raze X, microscopul optic cu analizor video în circuit închis pentru studiul structurilor

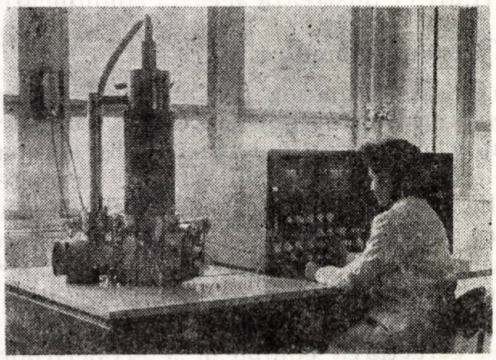


Fig. 11. Microscopul electronic TESLA -BS-301 în configurație de laborator.

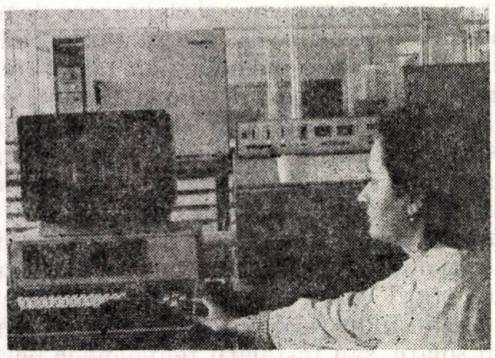


Fig. 12. Spectrofotometrul în IR cu stație de date și videodisplay.

de material, hysterezisgrafe, derivatografe, standuri de încercare, camere climatice, precum și un sortiment larg de AMC-uri și utilaje tehnologice cu parametri și capacități adecvate nivelului tehnic al cercetării de material. În 1984 s-a compartimentat un colectiv independent de caracterizări de materiale, a cărui dotare modernă continuă. Ca regulă generală, laboratoarele de cercetare sînt integrate, cuprinzînd cercetarea fundamental-orientată, ingineria tehnologică și piloții.

Semnificația dezvoltării microproducției în piloți este triplă. Pe de-o parte ea permite verificarea rețetelor și tehnologiilor la scară semiindustrială, pe de altă parte, asigură, în timp scurt, fabricile electrotehnice cu materiale moderne de mic tonaj, reducîndu-se importurile și, în fine, ea încarcă în mod economicos capacitățile (tehnologice și umane) piloților în intervalele dintre experimentările noilor materiale cercetate. Aceleași valențe le are și încărcarea judicioasă a unor specialiști creativi și a proiectanților din colectivele de inginerie tehnologică, cu elaborarea de proiecte pentru unele instalații, aparate de laborator, standuri, utilaje tehnologice specifice, SDV-uri, cerute atît de propriile laboratoare, cît și de laboratoarele și secțiile productive ale fabricilor de materiale și cabluri. Execuția acestor echipamente de înalt nivel tehnic se asigură de secția centrală de prototipuri a ICPE, într-o colaborare fructuoasă cu fabrici de specialitate din economie (unele echipamente sînt și proiectate și executate în secția prototipuri). ICPE contribuie și prin astfel de realizări la ridicarea nivelului tehnic al producției de materiale, la scurtarea termenelor de punere în funcțiune a unor capacități de producție, ca și la reducerea efortului valutar pe linia investițiilor.

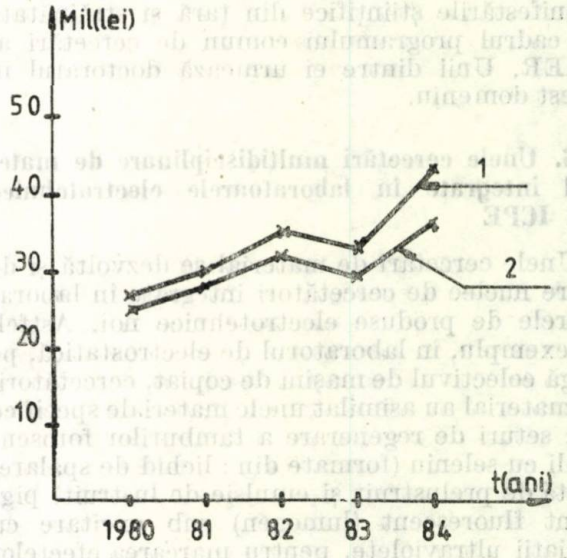


Fig. 13. Microproducția laboratoarelor cu profil de cercetare de material: *1* — total microproducție; *2* — materiale noi;

Se pot menţiona cîteva astfel de echipamente realizate în ICPE în regim de microproducţie în ultima perioadă şi care pot fi livrate la cerere :

— linii tehnologice de fabricat benzi de fretare (la ICME) ;

— pilotul de fabricat materiale pulverulente (la ICPE) ;

— instalaţie de tratament termomagnetic a magneţilor (la ICPE) ;

— linie tehnologică de fabricat cilindri rulaţi sticlă-epoxi (la ICPE) ;

— instalaţie de argintat conductoare din cupru pentru conectoare (la ICPE) ;

— echipament de încălzire pentru instalaţia de topire şi tragere a monocristalelor de siliciu pentru semiconductoare (la ICPMS) ;

— instalaţie automată pentru controlul dezechilibrului de rezistenţă şi de capacitate a cablurilor telefonice, cu calculator integrat (la ICME) ;

— stand de încercare la 2 × 150 kV a izolatoarelor din sticlă călită (la I. I. Botoşani) ;

— echipamente de verificare în flux a defecţiunilor cablurilor miniere (la ICME) ;

— stand de încercare finală a cablurilor energetice de 60 kV (la ICME) ;

— standuri pentru verificarea conductoarelor emailate (la producători şi la beneficiari) ;

— stand de experimentare a tronsonului de cablu criorezistiv (la ICPE) ;

— standuri de încercări ale periilor pentru maşini electrice (la ICPE) ;

— instalaţie TV în circuit închis aplicată pe microscopul optic pentru analiza cantitativă a structurilor (la ICPE) ;

— stand de încercări la rigiditate dielectrică a materialelor (la ICE) ;

— stand de încercare simulată a fiabilităţii cablurilor de telecomunicaţii (la ICPE).

9. Dezvoltarea potenţialului uman de cercetare

Recrutarea, orientarea profesională şi selecţia personalului de cercetare în disciplinele de materiale electrotehnice, mai ales într-un institut cu profil de bază electrotehnic, prezintă anumite particularităţi de natură formativă şi de adaptibilitate. Cercetarea de material electrotehnic este în esenţă multidisciplinară ; cercetătorul în acest domeniu trebuie să posede cunoştinţe temeinice de fizică şi chimie teoretică sau după caz chimie şi metalurgie, la care se adaugă ca factori comuni bazele electrotehnicii, tehnologiile specifice domeniului, afinităţii faţă de nou, creativitate şi dăruire profesională. Profesiunea de cercetător al materialelor electrotehnice implică şi dezvoltă sociabilitatea individului, spiritul de muncă în echipă mixtă ; ea este intelectualizantă, umanizantă, estetizantă şi de mare utilitate socio-economică. De aceea, dezvoltarea potenţialului uman în acest domeniu, în paralel cu proiectele de investiţii, a stat mai de mult în atenţia conducerii ICPE [18].

Intervin apoi şi factorii subiectivi de adaptabilitate la domeniu : cercetarea de material nu este întotdeauna curată ; parametrii ce se cer unui material electrotehnic depăşesc adeseori cifra 15, în timp ce materialelor înrudite, pentru aplicaţii comune, li se impun mult mai puţini.

Experienţa arată că în cercetarea de material fizicienii, chimiştii, metalurgiştii, sînt de neînlocuit. Se ridică atunci întrebarea, care este rolul şi locul inginerului electrotehnic în cercetarea de material electrotehnic. Tot din experienţa ICPE reiese şi faptul că puţini ingineri electrotehnici au condus echipe de cercetare care au asimilat materiale electrotehnice. Aceşti specialişti, dacă reuşesc la rîndul lor să-şi aprofundeze, prin studiu, cunoştinţe teoretice la zi din fizică (corp solid, electroradiofizică, spectroscopie şi alte tehnici de investigare), chimie, metalurgie fizică şi tehnologii de material, se integrează reuşit în echipa de cercetare. Ei conduc deseori cercetări valoroase interdisciplinare cum sînt : studiul sistemelor de izolaţie, studiul fenomenelor fizice în dielectrici ca descărcările parţiale, comportarea materialelor în cîmpuri de radiaţie, studiul protecţiei anticorozive a unor produse electrotehnice [19], coordonarea izolaţiei echipamentelor electrice, măsuri electrice pe materiale ş.a.

Modul acesta de tratare larg-multidisciplinară a domeniului este inspirat şi celor care lucrează în cercetarea de material şi care se găsesc în permanent dialog ştiinţific în cadrul contractelor comune sau la manifestări ştiinţifice comune cu alte unităţi de cercetare.

Toate aceste colaborări multiplică în mod fericit potenţialul uman de cercetare a materialelor electrotehnice la scară naţională.

10. Creativitate şi productivitate în cercetarea de material

Creşterea productivităţii cercetării ştiinţifice, scurtarea ciclului de cercetare-inginerie tehnologică—producţie, trecerea la cercetarea intensivă şi creşterea eficienţei ei sînt unele din laturile strategiei organizării ştiinţei moderne ca forţă de producţie. De aceea, pe drept cuvînt ele constituie şi obiectivul Directivelor Congresului al XIII-lea al PCR. În cercetarea de material electrotehnic, factorii ce influenţează aceste obiective sînt : complexitatea temei, baza tehnico-materială disponibilă, structura, competenţa şi ataşamentul faţă de ştiinţa românească a echipei de cercetare, cadrul organizatoric. Nu toţi aceşti factori pot fi uşor cuantificabili. Baza tehnico-materială şi structura de personal a laboratoarelor sînt expuse în alte capitole. Cadrul organizatoric a fost adaptat în ICPE, cu flexibilitate, cerinţelor de etapă şi evoluţiei interne a subdomeniilor, corelate cu dezvoltarea potenţialului material şi uman. Ori de cîte ori a fost necesar şi posibil s-a creat cîmp liber de afirmare a personalităţilor ştiinţifice din domeniu.

S-au organizat periodic manifestări ştiinţifice specializate şi s-a stimulat participarea cercetătorilor la alte manifestări ştiinţifice naţionale destul de frecvente şi valoroase în ultimii 10 ani. Cercetătorii sînt stimulaţi să-şi publice rezultatele cercetărilor în publicaţii de ţinută elevată din ţară şi din străinătate şi să-şi breveteze soluţiile originale. Cercetătorii valoroşi au fost trimişi frecvent atît ca bursieri, cît şi în cadrul unor colaborări internaţionale la stagii de specializare în laboratoare din străinătate, venind în contact direct cu cercetările la zi. În această ordine de idei se relevă rolul pozitiv pe care l-a jucat în asemenea acţiuni, cu putere de exemplu, directorul ICPE, dr. ing. Florin-Teodor Tănăsescu.

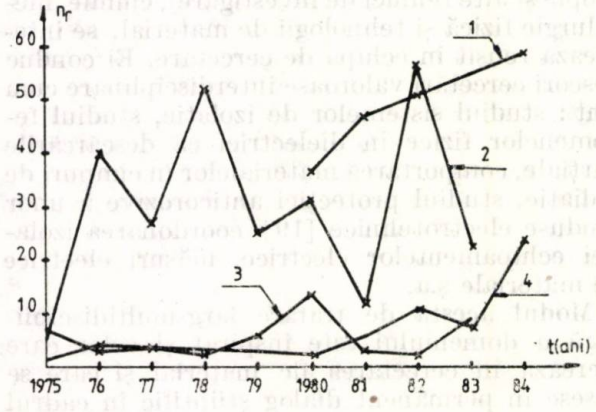


Fig. 14. Cîţiva indicatori de creativitate în cercetarea materialelor electrotehnice la ICPE : 1 — materiale şi produse noi omologate ; 2 — comunicări ştiinţifice prezentate ; 3 — articole ştiinţifice publicate ; 4 — brevete de invenţii acordate.

Ca rezultate ale acestui climat intelectual creat cu perseverenţă şi nu rareori cu dificultăţi, cercetătorii de material din ICPE, atît cei ce lucrează în laboratoare de specialitate, cît şi cei din echipele de cercetare a produselor electrotehnice, formează azi o şcoală de reputaţie naţională şi internaţională. În graficele din figura 14 s-a sistematizat evoluţia cîtorva indicatori de creativitate şi productivitate în acest domeniu. Graficul 1 arată productivitatea exprimată prin numărul de omologări (mărci şi sortodimensiuni de materiale, cabluri şi utilaje specifice noi) în ultimii 5 ani. Pe laboratoare, productivitatea este diferenţiată, funcţie de factorii enunţaţi mai sus.

În ceea ce priveşte brevetarea se constată că, în special în ultimii 10 ani, cercetătorii din ICPE sînt autori sau coautori ai 64 brevete de materiale electrotehnice (reţete, metode ş.a.).

Corolar

1. Cercetarea de material din ICPE a reuşit să implementeze o largă gamă de materiale electrotehnice de mai mare complexitate, adăugîndu-se eforturilor întregului institut şi al altor unităţi din ţară pentru modernizarea produselor electrotehnice româneşti.

2. Ca rod al politicii ştiinţifice a partidului şi statului nostru, s-a construit şi dotat în ICPE o bună bază materială, în jurul căreia s-a creat o valoroasă şcoală românească de electrotehnică, în care un rol important îl au cercetările de material.

3. Progresele rapide în electrotehnică pe plan mondial şi în ţara noastră pledează pentru continuarea dezvoltării potenţialului material şi uman de cercetare a materialelor în ICPE, unde se polarizează organic cercetările de produse electrotehnice cu cercetările de materiale.

4. Cercetarea eficientă şi fabricarea economicoasă a materialelor noi de mare şi de mic tonaj pentru industria electrotehnică, electronică şi automatică impun angajarea la un nivel mai înalt a unităţilor de cercetare şi producţie din marea industrie de profil, şi promovarea colaborării acestora cu cele din cadrul MIE, integrînd la scară mai mare în acest dialog şi catedrele din învăţămîntul superior.

Bibliografie

[1] *Kappel, W., Ştefaniu, M., Mitu, I., Vlăsceanu, M., Rogoz, D.* Magneţi permanenţi metalici de tip Alnico obţinuţi prin procedeele metalurgiei pulberilor. Conferinţa naţională de electrotehnică şi electroenergetică. Vol. **9**, p. 99—104, Craiova, 1984.

[2] *Drossu, M. A., Roman, P.* Cu privire la obţinerea materialelor electrotehnice sinterizate fier-siliciu utilizate în electrotehnică. A II-a Conferinţă naţională de metalurgia pulberilor. Vol. **I**, p. 259 — 264, Cluj-Napoca, 1983.

[3] *Gavriliu, S., Cristescu, E., Enescu, E., Roman, P., Soplea E.* Contacte electrice din argint-nichel cu conţinut redus de argint, pentru aparataj de joasă tensiune. Conf. naţ. de electrotehnică şi electroenergetică. Vol. **9** p. 43 — 50, Craiova, 1984.

[4] *Parteni Antoni Cesar.* Contribution à l'étude expérimentale et théorique de la commutation dans les machines à courant continu. (Teză) Paris, 1925.

[5] *Duinea, N., Melehova, E.* Influenţa materiilor prime şi a parametrilor tehnologici asupra rezistivităţii electrografitului. A II-a Conferinţă naţională de metalurgia pulberilor Tom. **III**, p. 153—168, Cluj-Napoca, 1983.

[6] *Paulik, F., Paulik, J., Erdey L.* Derivatography, a complex method in termal analysis. In : Talanta Review, Vol. **13**, p. 1405—1430. New-York, 1966.

[7] Brevete R.S.R. nr. 80421/81 ; 79077/82. 79114/82 ; (Titular institutul „Petre Poni"-Iaşi).

[8] Brevet R.S.R. Nr. 74319/73. (Titular I.C.P.E.).

[9] *Stroie, E., Stroie, C.* Materiale pulverulente pe bază de răşini sintetice şi tehnologii de obţinere a lor. In : EEA-Electrotehnica **25**, nr. 2, p. 80—83, Bucureşti, 1977.

[10] *Crucean, E., Rand, B.* Calcination of Zirconia Gels. In : Transaction of British Ceramic Society. Tom **78** (3)58, p. 58—64. Londra, 1979.

[11] *Gavriliu, G.* Consideraţii privind joncţiunile sticlă-metal. In : Lucrările ICPE nr. **32**, p. 109—121, Bucureşti, 1978.

[12] *Ciofu, V.* Untersuchung der Teilentladungen bei einigen Elektroisolierstoffen für explosionsgeschützte elektrische Maschinen mit erhöhter Sicherheit. In : ETZ-A Bd. 92. H6, p. 381—385, Berlin, 1971.

[13] *Şufană, N., Ciofu, V., Nistor, Ghe.* ş.a. Materiale electroizolante organice în echipamente nucleare. In : Lucrările ICPE nr. **29/bis** p. 233—248, Bucureşti, 1974.

[14] *Lăzărescu, Gh., Iordache, D., Iancu, Vl., Popa, L., Pop, I., Tudoricu, V.* Physical problèms in the design of the cryogenic cables. III. The evaluation of the transversal temperature distribution in Steady States of cylindrically symetric cables. In : Bul. Inst. Politehnic. S. Electr. Vol. **44** (3), p. 36—46, București, 1982.

[15] *Cruceanu, E.* și *Popa, M.* Proprietățile electrice la temperaturi joase ale aluminiului de calitate Al. E. In : Studii și cercetări de fizică. 8. Tom **26**, p. 815—926, București, 1974.

[16] *Miu, V. L.* Studiul curenților critici în materiale supraconductoare. (Rezumatul tezei), București, 1984.

[17] *Ciofu, V.* Situația cercetării în domeniul materialelor electrotehnice (Raport către Minister). București, 29.04. 1972.

[18] *Ciofu, V.* Elaborarea unui program de recrutare, orientare profesională și selecție a personalului necesar ICPE—București. Academia „Ștefan Gheorghiu". București, 1972.

[19] *Ciofu, V.* ș.a. Cercetări privind materiale și protecții indicate pentru motoarele electrice destinate funcționării în atmosfere cu agresivități chimice. In : Lucrările ICPE nr. **29**, p. 91—102, București, 1974.

[20] *Popescu, Ch.*, ș.a. Materiale electrotehnice. Proprietăți și utilizări. București, 1976.

[21] *Ifrim, A., Noțingher, P.* Materiale electrotehnice. București, 1979.

[22] *Ciofu V., Fârșirotu, Vl.* Laboratorul de spectroscopie în slujba materialelor electrotehnice. In : EEA—Electrotehnica **27**, nr. 5, p. 201—204. București, 1979.

CZ 621.47 :621.314.2 :621.311.22

ENERGIE SOLARĂ
CONVERSIE FOTOVOLTAICĂ
CENTRALE TERMICE SOLARE

Aplicațiile energiei solare

DOINA MORARU, CRISTIAN I. POPESCU, OTILIA BIZIM, EUGEN TOMA, MIHAI RÂPEANU, NICOLAE OLARIU, EUGEN ZAIDEȘ

Activitatea desfășurată în ICPE, în ultimii zece ani, pentru conversia și utilizarea energiei solare a urmărit creșterea eficienței de conversie pe diferite filiere, realizarea de aplicații atît demonstrativ, cît și pentru obținerea unui aport energetic la consumatorul beneficiar al aplicației, precum și dezvoltarea unor fabricații industriale sau în micropilot, pentru convertoarele de energie solară care au atins performanțe de natură să asigure competitivitatea economică a instalațiilor solare cu sursele convenționale de energie.

În cele ce urmează vor fi prezentate, pe scurt, principalele realizări ale cercetărilor ICPE și ale altor institute colaboratoare în domeniul conversiei fotovoltaice a energiei solare în energie electrică și în domeniul conversiei energiei solare în energie termică, prin utilizarea captatoarelor solare cu concentrare.

1. Baterii fotovoltaice

Filiera conversiei directe a energiei solare în energie electrică a fost urmărită, începînd din anul 1974, cu următoarele obiective principale :

a — realizarea de generatoare solare cu caracter demonstrativ, care să fie în același timp standuri de încercare pentru urmărirea comportării în condiții naturale a diferitelor sisteme de conversie ;

b — realizarea unei fabricații de serie mică de baterii solare, pentru alimentarea unor consumatori izolați ;

c — dezvoltarea cercetărilor în domeniul celulelor și bateriilor fotovoltaice, pentru reducerea costului energiei furnizate, în vederea utilizării ei pe scară largă.

Primele generatoare solare cu conversie directă, fotovoltaică, termoelectrică și termoionică au fost realizate de ICPE în colaborare cu IFTM și ICCE—Băneasa, în perioada 1976—1980, în gama de puteri 0—10 W. Elementele convertoare erau produse în laborator, iar celulele fotovoltaice cu siliciu monocristalin la ICCE-Băneasa, elementele termoelectrice pe bază de telurură de bismut și telurură de plumb la IFTM și ICPIAF — Cluj-Napoca, convertorul termoionic la IFTM.

În 1982, ICPE a omologat primele module fotovoltaice cu celule din siliciu monocristalin produse de IPRS—Băneasa și tehnologia de fabricație de serie mică într-o linie pilot din cadrul institutului.

Caracteristicile acestor module sînt date în tabelul 1.

Tabelul 1

Caracteristicile modulelor fotovoltaice ICPE

Parametrul	U/M	Modul tip SM6-36/75	Modul tip SM12-36/50
Curentul de scurt-circuit	A	0,750	0,425
Tensiunea de gol	V	21	21
Puterea maximă	W	10	6,5
Suprafața	m^2	0,24	0,13
Greutatea	kg	3	2

Fabricarea modulelor a făcut posibilă realizarea primelor aplicații ale bateriilor fotovoltaice pentru alimentarea receptoarelor TV (fig. 1), a radiotelefoanelor, a ceasurilor electrice (fig. 2), a unui gard electric pentru paza vitelor (fig. 3), a unor sisteme de pompare a apei, precum și a unor instalații de iluminat (fig. 5 a—b) în sisteme de achiziții date (fig. 4).

S-a experimentat, de asemenea, alimentarea parțială cu energie electrică a unor case solare (fig. 6), cu baterii fotovoltaice, a căror putere instalată totalizează circa 1 kW la o intensitate a radiației solare de 600 W/m^2.

Necesitatea reducerii costului celulelor fotovoltaice, pentru lărgirea domeniului de aplicații, pînă la o scară semnificativă în balanța energetică a țării, a determinat cercetări pentru punerea

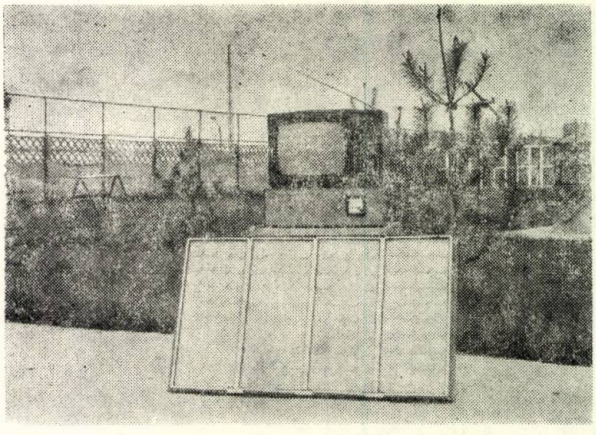


Fig. 1.Sursă fotovoltaică pentru receptoare TV : $Un = 12$ V ; $In = 1{,}6$ A ; $Q = 10$ Ah. Regulator serie.

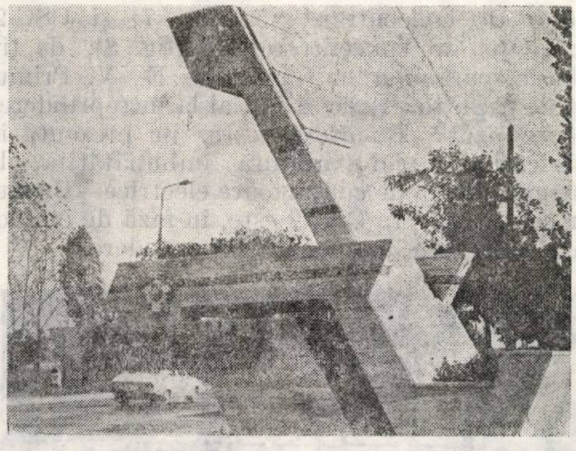


Fig. 2. Sursă fotovoltaică pentru ceasuri electronice : U_n = = 6 V ; I_n = 3A ; Q = 66 Ah.

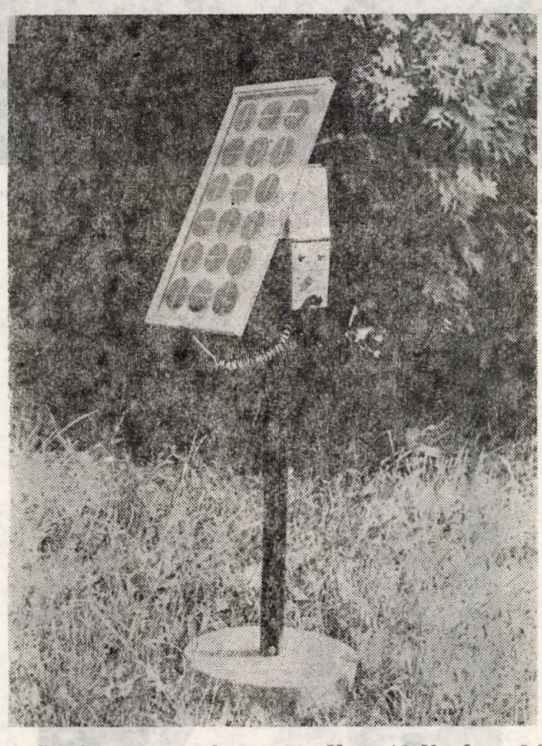


Fig. 3. Sursă pentru gard electric : U_n = 12 V ; In = 0,2 A.

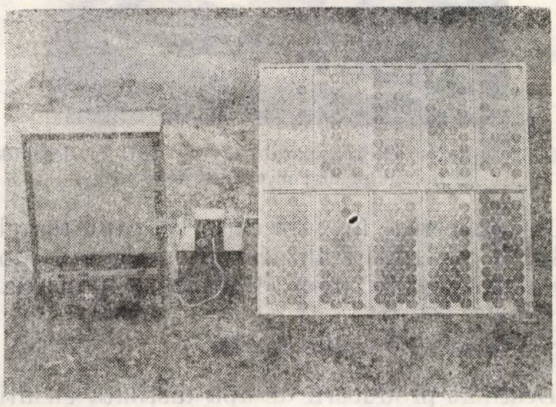
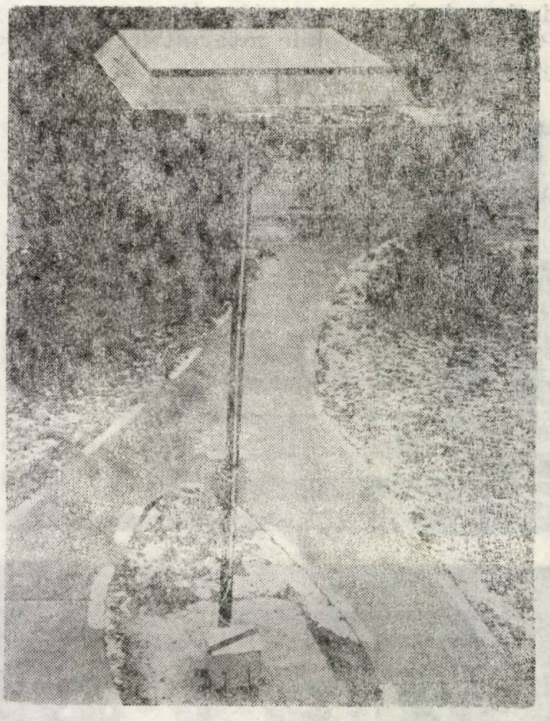
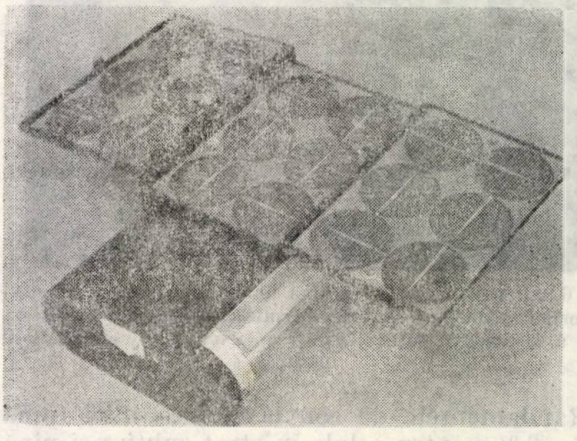


Fig. 4. Sursă pentru sistem achiziții date : U_n = 24 I_n = 2 A ; Q = 45 Ah. Regulator paralel.

la punct a tehnologiilor celulelor fotovoltaice, în straturi subțiri policristaline sau amorfe, precum și a celulelor funcționînd în regim de radiație solară concentrată.



a



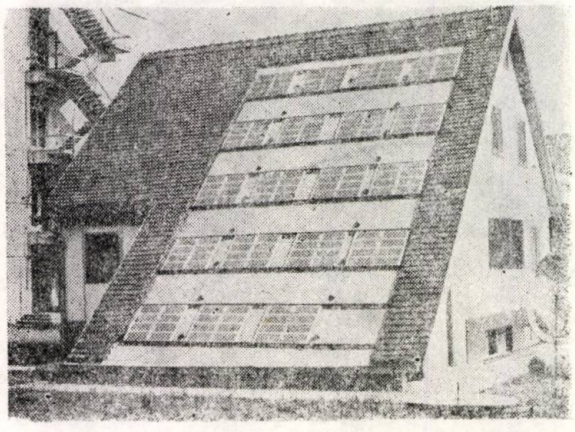
b

Fig. 5. Surse fotovoltaice pentru iluminat : a — iluminat public ; b — sursă portabilă.

Primele baterii cu celule în strat subțire, realizate în perioada 1980—1984 de către IFTM, sînt cu celule pe bază de CdS—Cu_2S, evaporate sau depuse prin pulverizarea în aer, pe bază de siliciu amorf. În 1984 a fost omologată prima baterie de 1 W cu celule pe bază de CdS—Cu_2S evaporate.

Cu celulele pe bază de GaAs și AlGaAs, funcționînd cu radiație solară concentrată (factor de concentrare C = × 500) produse în laborator la IFTM, s-a realizat prima baterie experimentală cu lentile Fresnel fabricate la IAUC.

Au fost desfășurate, în paralel, cercetări la ICCE—Băneasa, pentru realizarea de celule fotovoltaice din siliciu policristalin, din siliciu monocristalin, tip MIS, precum și din siliciu monocristalin cu funcționare în regim de radiație solară concentrată. De asemenea, în ICPE se studiază celule fotovoltaice lichide cu electrozi semiconductori.



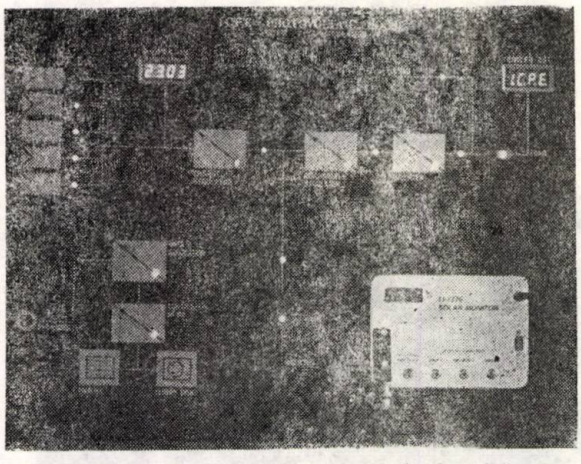


Fig. 6. Surse pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor casnici : a — sursă fotovoltaică ; b — schema sinoptică a sistemului fotovoltaic și a sistemului de comandă și control.

Randamentele de conversie încă mici (pînă la 5—6 % pentru celule în strat subțire și pînă la 10 % la cele cu concentrare) au amînat după 1985 decizia asupra realizării unui pilot industrial pentru una din variante, astfel încît costul energiei electrice produse cu baterii fotovoltaice să scadă pînă la 1—2 lei/kWh.

2. Instalații solare de producere a energiei termice cu captatoare cu concentrare

Pornind de la o analiză a consumurilor industriale de căldură în domeniul de temperaturi 50—150°C, s-a considerat oportună dezvoltarea unor cercetări pentru realizarea de captatoare solare cu concentrare joasă și medie. În 1981 — 1982 au fost omologate două tipuri de captatoare solare cu concentrare (CSCF-1, cu factor de concentrare x5 (fig. 7) și CSC-2, cu factor de concentrare x16 (fig. 8), de tip cilindro-parabolic cu orientare E—V. Primul tip de captator, realizat inițial la întreprinderea „Autobuzul" București este, în prezent, în fabricație, într-o variantă îmbunătățită, la Intreprinderea de contactoare electrice—Buzău, iar captatorul tip CSC-2 este, în fază de omologare serie zero, la aceeași întreprindere.

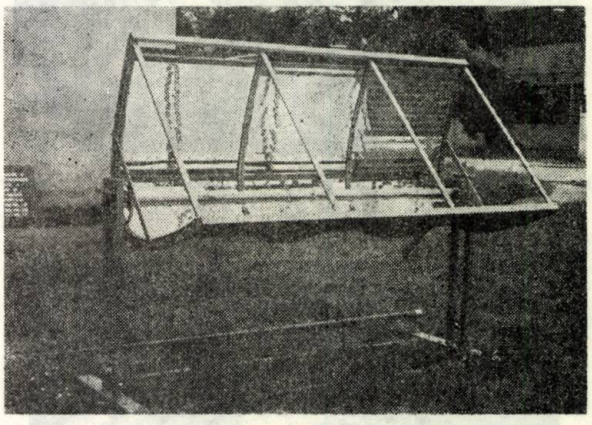


Fig. 7. Captator cilindro-parabolic tip CSCF—1 : deschidere 1 m ; factor de concentrare C = x5.

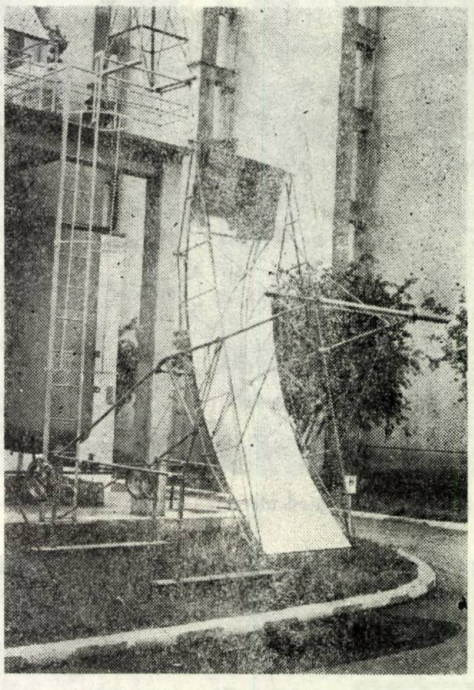


Fig. 8. Captator cilindro-parabolic tip CSC-2 : deschidere 4 m ; factor de concentrare C = x16.

Introducerea în fabricație a captatoarelor CSCF-1 a permis realizarea și omologarea unor instalații pentru diferite utilizări industriale.

2.1. Distilator solar tip DS-1

Destinat producerii de apă distilată cu utilizare în special pentru parcuri auto, dar și pentru laboratoare, în primul rînd în școli, distila-

torul solar (fig. 9), omologat de ICPE în 1984, are următoarele caracteristici :

- Tipul de captator utilizat : CSCF-1-2,5.
- Suprafaţa totală de captare : 10 m².
- Greutatea : captatoare — 370 kg, distilator — 45 kg.
- Debitul de apă distilată : 0,5÷2,3 kg/h, la intensităţi ale radiaţiei solare de 400—800 W/m².
- Preţ unitar : 2,0 lei/kg apă distilată.

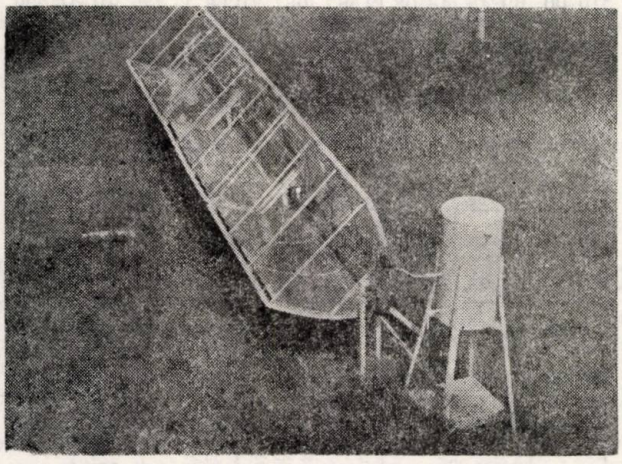


Fig. 9. Distilator solar tip DS—1.

2.2. Instalaţie solară de producere a apei calde şi a aerului cald

Instalaţia proiectată de ICPE în colaborare cu ISPE, omologată în 1983 şi extinsă în 1984 a fost experimeantată la întreprinderea de nutreţuri combinate IPNC-Sabarul, sectorul agricol Ilfov (fig. 10).

Principalele caracteristici ale instalaţiei sînt următoarele :

Caracteristici constructive

1. Captatoare solare cilindro-parabolice tip CSCF-1 (suprafaţă de captare: 2 m², factor de concentrare : x5).
2. Suprafaţă totală de captare : 3 000 m².
3. Capacitatea de stocare de apă caldă : 240 m³ (2 rezervoare a 120 m³ fiecare).
4. Schimbător de căldură apă-aer, montat la gura de aspiraţie a ventilatorului uscătorului ITUB — 12,5, format din 12 baterii tip BIV— — 840 × 2 400/II.

Caracteristici funcţionale

Schema funcţională este dată în figura 11.

1. Debit apă în cîmpul de captare : 30 m³/h (10 kg/m²h).
2. Debit aer la uscător : 31 000 m³/h.
3. Debit apă în circuitul acumulator de căldură-uscător : 10—30 m³/h.
4. Regimuri termice (dependente de intensitatea radiaţiei solare şi de temperatura ambiantă) :
   — temperatura de ieşire a apei din cîmpul de captatoare : 50°÷80°C ;
   — temperatura de intrare a aerului în uscător : 40°÷70°C.
5. Durate de funcţionare a instalaţiei în zile medii :
   — cîmpul de captatoare : 6 ore/zi ;
   — acumulatoarele de căldură : 10—12 ore/zi ;
   — total : 16 — 18 ore/zi.
6. Capacitatea medie de căldură livrabilă la uscător 0,2—0,25 Gcal/h.
7. Capacitatea de căldură medie produsă de cîmpul de captatoare : 0,5 Gcal/h.

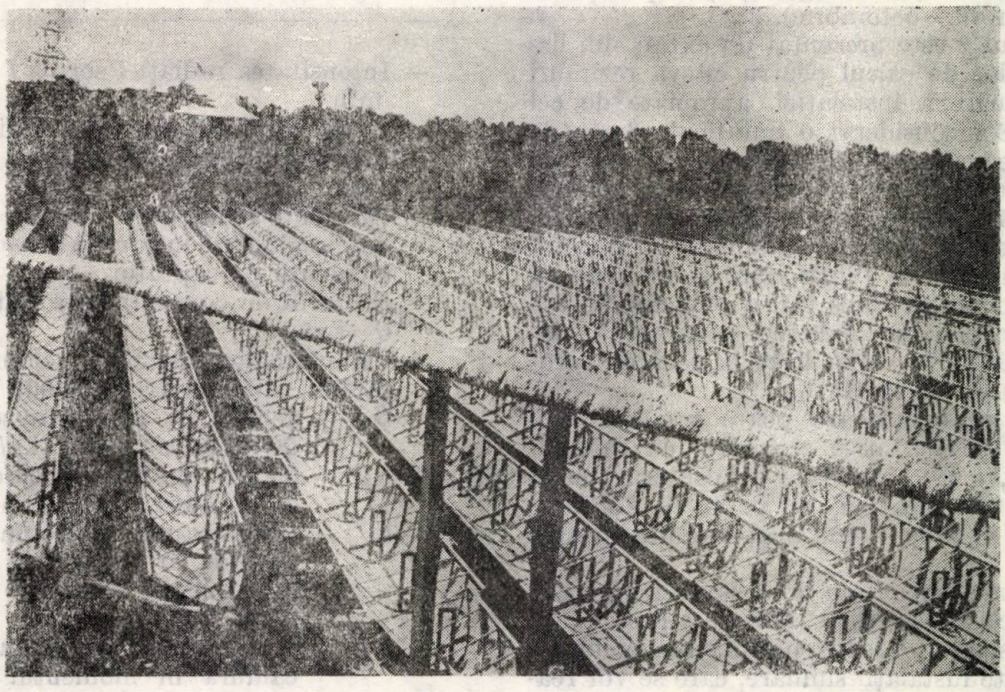


Fig. 10. Instalaţie solară de 550 Gcal/an pentru producerea apei calde şi a aerului cald — IPNC — Sabarul.

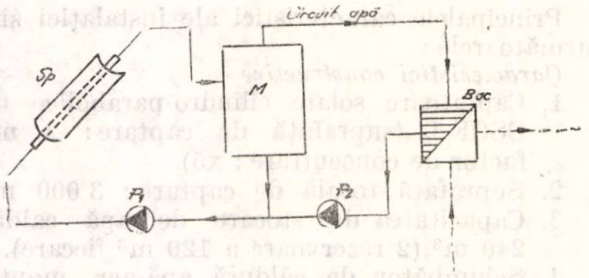


Fig. 11. Schema funcţională a instalaţiei IPNC — Sabarul: *Sp* — captator cilindro-parabolic; M — instalaţia de stocare; B_{ac} — baterie schimbătoare de căldură apă-aer; P_1, P_2 — pompe.

8. Număr de ore de însorire utile (după datele IMH): circa 1 100 ore/an.

luna	aprilie	mai	iunie	iulie	august	septembrie	octombrie
nr. ore	138	156	162	168	168	156	144

Total energie livrabilă anual (în apă caldă şi aer cald): 550 Gcal/an.

Datele de calcul rezultate din rularea pe calculator a unui program, care permite determinarea cantităţii de căldură produse de cîmpul de captatoare şi a cantităţii de căldură acumulată (respectiv, prin diferenţă, a capacităţii de căldură livrată la uscător) în funcţie de parametrii climatici, caracteristicile captatoarelor şi debitele de apă în cele două circuite (cîmp-acumulator şi acumulator-uscător), au fost confirmate de măsurătorile efectuate pe perioada uscării orzului (iunie-august), şi a porumbului (septembrie—octombrie).

În tabelul 2 este prezentat un extras din listarea datelor de calcul pentru cîteva regimuri de funcţionare a instalaţiei apropiate de cel nominal. S-a considerat o durată de 6 ore de funcţionare a cîmpului de captatoare şi o durată de 10 ore de alimentare a uscătorului din acumulator, după întreruperea funcţionării cîmpului de captatoare. Valorile subliniate reprezintă regimuri uzuale de funcţionare şi se vede că instalaţia poate produce într-o zi medie 3—3,5 Gcal/zi, deci la o durată de funcţionare de 16 ore (două schimburi) se pot livra la uscător aproximativ 0,19 — 0,22 Gcal/h.

Cîmpul de captatoare poate produce deci 0,5 — 0,6 Gcal/h într-o zi medie, cu funcţionare 6 ore, deci o cantitate de căldură anuală de 550 — 660 Gcal/an, în perioada aprilie—octombrie, sau 400 — 480 Gcal/an numai pentru nutreţuri.

Preţul energiei livrate de instalaţia prototip este de circa 400 lei/Gcal. Deoarece preţul captatoarelor solare s-a redus, preţul energiei livrate de către alte instalaţii similare, care se vor realiza, va coborî pînă la 200—250 lei/Gcal.

Tabelul 2

Date de calcul pentru cîteva regimuri de funcţionare a instalaţiei solare de producere a apei calde şi a aerului cald (IPNC—Sabaru)

$\bar{a}_A$	t_0	t_f	Q_{ac}	Q_{zi}	G_A
10.00	63.96	39.65	2 917 740.61	354 703.13	10 000
10.00	69.48	48.08	2 567 087.31	3 371 786.91	15 000
10.00	73.93	54.86	2 287 528.62	3 230 031.20	20 000
10.00	77.55	60.37	2 061 324.91	3 114 762.04	25 000
10.00	80.53	64.71	1 875 137.55	3 019 544.59	30 000
10.00	83.04	68.71	1 719 447.99	2 939 788.72	35 000
10.00	85.16	71.93	1 587 436.79	2 872 381.87	40 000
10.00	86.98	74.70	1 474 137.02	2 814 318.47	45 000
10.00	88.56	77.10	1 375 832.27	2 763 730.18	50 000
15.00	59.07	31.67	3 287 744.27	3 795 653.20	10 000
15.00	63.53	38.61	2 989 375.10	3 639 872.54	15 000
15.00	67.43	44.66	2 732 843.64	3 503 625.09	20 000
15.00	70.79	49.84	2 513 700.03	3 386 497.65	25 000
15.00	73.68	54.30	2 325 607.63	3 285 660.12	30 000
15.00	76.17	58.16	2 162 926.42	3 198 295.94	35 000
15.00	78.38	61.53	2 021 075.52	3 122 034.37	40 000
15.00	80.30	64.50	1 896 418.88	3 054 772.07	45 000
15.00	82.01	67.12	1 786 077.00	2 995 578.47	50 000

— Intensitatea radiaţiei solare $I = 600$ kcal/$/m^2h$.
— Coeficientul de pierderi termice la receptorul captatorului solar $Kr = 10$ kcal/m^2h grad.
— Eficienţa geometrică: cos $i = 0{,}8$ unde i este unghiul de incidenţă al radiaţiei solare incidente pe captator.
— Factorul de concentrare a radiaţiei solare $C = x5$.
— Caracteristica bateriei schimbătoare de căldură apă-aer $KS = 20\,000$ kcal/h grad.
— G_A — debitul de apă prin schimbătorul de căldură apă-aer (kg/h).
— $\bar{a}_A$ — debitul de apă specific în cîmpul de captatoare (kg/m^2h).
— t_0 — temperatura în acumulatorul de căldură în momentul întreruperii funcţionării cîmpului de captatoare (°C).
— t_f — temperatura în acumulatorul de căldură în momentul întreruperii consumului (°C).

— Q_{ac} — cantitatea de căldură acumulată într-o zi (kcal).
— Q_{zi} — cantitatea de căldură produsă de cîmpul de captatoare într-o zi (kcal).

2.3. Instalație solară montană pentru producerea apei calde cu captatoare cu concentrare

La solicitarea Uniunii generale a sindicatelor, ICPE în colaborare cu ISPE a proiectat și construit o instalație solară de producere a apei calde pentru necesități de tratament, la stațiunea Voineasa, jud. Vîlcea.

Instalația (fig. 12) se compune, în principal, dintr-un cîmp de captatoare cilindro-parabolice E—V, cu factor de concentrare C=x5 (tip CSCF-1).

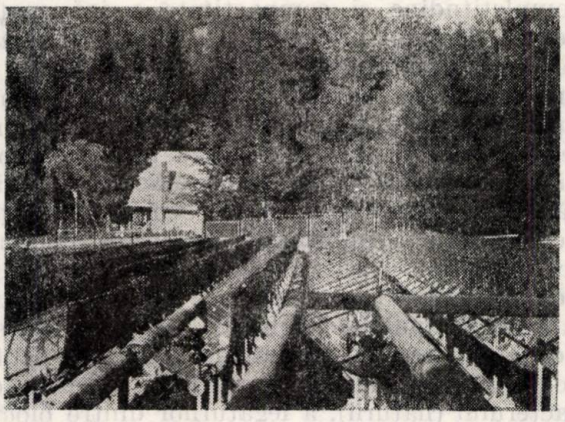


Fig. 12. Instalație termică solară de 360 Gcal/an — Voineasa.

Circuitul primar al instalației îl constituie rețeaua formată din cîmpul de captatoare și racordarea la acumulator, circulația realizîndu-se cu o pompă avînd debitul de apă variabil în funcție de variațiile intensității radiației solare (deoarece este necesar să se păstreze temperaturile de calcul ale apei din circuitul primar); s-a prevăzut reglare automatizată, folosind un regulator de temperatură tip RDT.

Circuitul secundar al instalației este format din racordul de la acumulator la un schimbător de căldură în contracurent, utilizînd o pompă de circulație cu regim de exploatare „totul sau nimic", circuitul reprezentînd un circuit primar suplimentar pentru prepararea „solară" a apei calde de consum.

Schimbătorul de căldură prevăzut în proiect se înseriază ca o treaptă suplimentară, preliminară, pe circuitul secundar cu schimbătorul de căldură al instalației existente în centrala termică și cu boilerele pentru prepararea apei calde.

Caracteristici tehnice
— Suprafața captatoare solară : 956 m².
— Regimul de lucru — sezonier (aprilie—octombrie).
— Temperaturile nominale : 65°C/40°C.
— Puterea termică nominală : 300 kW_t, respectiv (rot) 0,25 Gcal/h.
— Energia livrată : 420 MWh_t/an, respectiv (rot) 360 Gcal/an.
— Durata nominală de funcționare : 1 400 ore/an.
— Economia de combustibil : 70 t c.c./an.
— Economia de combustibil lichid la 9 800 kcal/kg : 50 t comb. lichid/an.

Rezultatele experimentale și analiza economică a acestor tipuri de instalații stau la baza elaborării, în 1985, de proiecte tip pentru instalații de producere a apei calde și aerului cald în scopuri tehnologice, care vor permite aplicarea acestora pe scară largă.

Cercetările continuă pentru realizarea în 1985—1986 a unei instalații frigorifice cu absorbție, utilizînd captatoare solare cu factor de concentrare mai ridicat (CSC-2), precum și a altor tipuri de instalații cu aplicații, în special, în agricultură și industria agroalimentară.

CZ 621.3 : 001.13

ELECTROTEHNICĂ
PROIECTARE ASISTATĂ DE CALCULATOR

Proiectarea asistată de calculator în electrotehnică

IOAN BOCONCIOS, EUGENIU DIATCU, PARASCHIVA ONICA

În practica proiectării sistemelor complexe calculatoarele se utilizează pentru efectuarea unor calcule deosebit de laborioase, găsirea rapidă a soluţiilor necesare, estimarea şi compararea diferitelor soluţii, optimizarea acestora în prezenţa unor constrîngeri.

Principalele etape ale oricărei activităţi de proiectare sînt :

1 — elaborarea şi avizarea temei de proiectare ;

2 — alegerea sau elaborarea bazei de elemente necesare, ţinînd seama de cele fabricate sau în curs de asimilare de către industrie şi de experienţa proiectantului ;

3 — proiectarea structurală (sinteza, optimizarea şi elaborarea schemelor structurale) ;

4 — proiectarea logică (descrierea formală a principiilor de funcţionare, sinteza, analiza şi elaborarea schemelor funcţionale) ; sinteza constînd în proiectarea, de multe ori, pe baza unor metode intuitive, a schemei care realizează legea de funcţionare dată din elementele componente alese, trebuie verificată, prin analiză, reproducerea legii de funcţionare de către schema astfel elaborată. Aşadar, prin analiză se verifică rezultatele sintezei, se alege varianta optimă, conform criteriilor stabilite (viteza de lucru, consum de aparatură etc.), se stabilesc metodele de reglare a schemelor şi se elaborează testele de control şi diagnostic, se evidenţiază regimurile critice de lucru, influenţa întreruperii semnalelor şi redundanţa schemei etc. ;

5 — proiectarea tehnică (dimensionarea circuitelor, repartizarea pe blocuri funcţionale, elaborarea documentaţiei tehnice, de execuţie şi montaj) ;

6 — proiectarea tehnologică ;

7 — elaborarea soft-ware-lui (programe de funcţionare, test şi utilizare).

În practică, calculatorul se foloseşte în proiectare, mai ales în etapele 4—7, celelalte etape fiind realizate, în principal, de proiectant. În etapa 1-i calculatorul se utilizează numai pentru calcule aproximative, modelare preliminară, în etapa a 2-a pentru elaborarea de noi elemente, dacă sînt necesare, iar în etapa a 3-a pentru modelarea funcţionării schemelor şi sistemului în ansamblul său (verificarea structurii alese).

Trebuie subliniat că, în prezent, metodele de proiectare structurală cu ajutorul calculatorului sînt încă insuficient elaborate.

Pentru modelarea funcţionării schemelor logice este nevoie ca acestea să fie introduse în calculator, fie sub forma unui graf boolean, fie, mai ales, pentru că este mai raţională, sub forma unor tabele conţinînd : intrările şi ieşirile schemei, lista elementelor componente şi a legăturilor între ele, precum şi matricele legăturilor interne ale elementelor.

Descrierea funcţionării diferitelor dispozitive şi a sistemului de proiectat în ansamblul său reprezintă informaţia de intrare în sistemul de calcul utilizat pentru proiectarea asistată de calculator. Evident, această descriere trebuie să fie strict formalizată. Principiile după care se face această formalizare se aleg din considerente de minimizare a volumului de programe, completitudine şi compactitate a informaţiei despre sistemul proiectat. Decizia privind alegerea unui mod sau a altuia de descriere a informaţiei de intrare se poate adopta numai după analiza aprofundată a problemei de proiectare date. Criteriile de bază în această privinţă pot fi : introducerea complicată a modificărilor, volumul de memorie ocupat, greutăţile de extragere a informaţiei implicate din tema formalizată şi altele. La alegerea limbajului de descriere trebuie determinate : alfabetul utilizat (ansamblul de simboluri permise), sinteza descrierii (numărul de simboluri utilizate pentru codificarea blocurilor, intrărilor, ieşirilor, caracterului (naturii), a legăturilor dintre blocuri etc.), dimensiunile şi regulile de formare a părţilor de vorbire (silabe, cuvinte : literale, numerice, alfanumerice).

După cum se ştie, procesul de proiectare este un proces continuu, iterativ, de analiză şi sinteză, cele mai dezvoltate fiind, în prezent, metodele de analiză bazate pe modelarea schemelor cu ajutorul calculatorului electronic. Metodele de sinteză, fiind prin natura lor complicate şi insuficient de universale, au o aplicare limitată la schemele logice şi permit rezolvarea numai a unor probleme particulare, de exemplu sinteza comenzii. Metodele de modelare sînt însă de mare generalitate şi sînt aplicabile la orice nivel (structural, funcţional, logic). Pentru modelare este foarte eficientă utilizarea de limbaje specializate, de exemplu Simscript, orientate pe o anumită clasă de aparatură şi pe diferite niveluri de descriere a acestora. Una din deosebirile dintre aceste limbaje şi limbajele algoritmice universale constă în aceea că ele permit scrierea funcţionării schemelor în timp, chiar dacă acest lucru nu este totdeauna evident (de exemplu descrierea pe tacte a procesului, descrierea separată a proceselor statice, componenţa şi destinaţia schemei, interdependenţa elementelor componente) şi a proceselor

dinamice (descrierea diagramelor de timp a proceselor ce au loc în dispozitivul respectiv).

La nivel structural modelarea are drept scop aprecierea și optimizarea caracteristicilor generale (viteză de lucru, complexitate ș.a.m.d.) ale echipamentului sau sistemului proiectat, reprezentat ca un ansamblu de dispozitive funcționale, legate între ele prin circuite de transmitere a semnalelor de comandă și informaționale. Fiecare din aceste dispozitive reprezintă, în același timp, un consumator și o sursă de informație, de aceea, pentru descrierea structurală a fiecărui dispozitiv, este suficient să se specifice regulile de transformare a ansamblului dat de informații de intrare în semnale de comandă, cu indicarea timpului de realizare a funcțiilor respective. În procesul modelării la nivel structural se verifică diferite variante posibile ale schemelor ce realizează funcțiile respective și are loc optimizarea, după diferite criterii, precum și evidențierea erorilor săvîrșite de proiectant (absența legăturilor necesare, neconcordanța funcționării în timp a diferitelor scheme componente ș.a.). Formalizarea la nivelul structural de proiectare a schemelor pentru diferite dispozitive ale unui echipament (sistem) permite antrenarea în procesul de proiectare la acest nivel a unui număr mare de executanți ai schemei de structură, fără a exista riscul pierderii controlului asupra lor.

Modelarea la nivelul funcțional permite analiza diferitelor variante de realizare a schemelor funcționale, verificarea funcționării lor corecte și a corelării funcționării lor, elaborarea și verificarea sistemului de comenzi și, evident, înlăturarea erorilor săvîrșite de proiectant. Modelarea la nivelul logic, operînd cu descrierea sistemului prin ecuații logice, permite verificarea logicii de ansamblu a sistemului și evidențierea următoarelor : utilizării incorecte a elementelor existente, legăturilor nepermise între acestea, erorilor în diagramele de timp ș.a.

Modelarea elementelor analogice se poate face utilizînd caracteristicile tensiune-curent sau ecuațiile diferențiale ale proceselor tranzitorii. Modelul matematic reprezintă, în acest caz, un operator, care pune în corespondența sistemului de parametri interni (fizico-electrici, electrici, constructivi și tehnologici) ansamblul parametrilor externi (tensiuni, curenți), aflați în interdependență funcțională. Parametrii electrici sînt parametri secundari, fiind funcții de parametrii fizicoelectrici și constructiv-tehnologici.

După caracterul proceselor pe care le reflectă, modelele elementelor analogice pot fi statice (reflectă starea elementelor, nu iau în considerație elementele reactive sau ai căror parametri depind de timp) sau dinamice (reflectă procesele și/sau elementele dependente de timp, elementele reactive). Reprezentarea elementelor dinamice este comodă sub forma ecuațiilor diferențiale, urmînd ca tensiunile și curenții să fie determinați cu ajutorul calculatorului pentru tipul de semnal aplicat, sau sub forma schemelor echivalente și a ecuațiilor care descriu procesele în acestea și care, de asemenea, pot fi elaborate automat de calculator.

După părerea specialiștilor străini [1], dacă introducerea informaticii de întreprindere (de gestiune) se justifică, în primul rînd, datorită contribuției ce o aduce la perfecționarea activității și creșterea productivității muncii, trecerea la concepția asistată de calculator reprezintă o condiție a supraviețuirii întreprinderilor, căci, în prezent, pentru ca acestea să trăiască este necesară elaborarea de produse din ce în ce mai sofisticate, odată cu reducerea timpului ocupat de sarcini necreative. După un studiu american, într-un compartiment de proiectare tradițional, 70 % din timpul de lucru este consacrat lucrărilor de recopiere, 20 % diferitelor adaptări (modificări, variante), rămînînd, de fapt, numai 10 % din timp pentru creație, din care 5 % se pierde cu studiul ipotezelor inutile. Așadar, numai 5 % din timp este utilizat pentru creșterea capacității proprii de concepție.

Ori, sarcinile de recopiere, ca și cele de adaptare, pot fi foarte ușor automatizate, dacă se dispune de programe de proiectare și de echipamentele necesare (graph-plotter și digitizor). Utilizarea calculatorului permite o mai bună planificare a elaborării proiectului, iar în faza de anteproiect sau studiu tehnico-economic, reducerea cheltuielilor cu informarea documentară, analiza diferitelor variante posibile și creșterea preciziei în definirea costurilor, considerîndu-se că și numai aceste avantaje sînt deja suficiente pentru a justifica intoducerea unui sistem de proiectare asistată de calculator. La faza de proiect, reducerea cheltuielilor și a timpului de elaborare se obține pe seama eliminării unor etape (de exemplu : elaborarea de modele fizice, machete și încercarea acestora) ; creșterii rapidității și preciziei în studiul influenței diferitelor restricții, modificări și variante ; asigurării unei priviri de ansamblu asupra proiectului, creșterii fiabilității corelării diferitelor părți ale acestuia și controlului desfășurării normelor acestuia (luarea în considerație a tuturor condițiilor prescrise, efectuarea modificărilor în toate elementele necesare, respectarea termenelor și înlănțuirea corectă a tuturor etapelor de elaborare etc.).

În ceea ce privește eficiența automatizării proiectării produselor, se menționează, de asemenea, că lucrările efectuate în această direcție în cadrul CAER arată că prin aceasta se obțin : îmbunătățirea cu 10—25 % a parametrilor tehnico-economici ai obiectivelor proiectate, creșterea cu 20—25 % a productivității muncii în institutele de cercetare și proiectare, reducerea de 2—4 ori a duratei de proiectare și economisi-

rea a 5—15 % din materialele necesare pentru realizarea mașinilor sau construcțiilor [2].

Utilizarea calculatorului permite, de asemenea, automatizarea cercetării documentare, elaborarea documentației tehnice, constructive,de montaj, tehnologice, inclusiv suportul cu informația de comandă (de obicei bandă perforată) pentru mașinile-unelte din procesul de fabricație și boxele de test. Automatizarea elaborării multiplicării și evidenței documentației permite reducerea substanțială a duratei de realizare a acesteia și o importantă economie de mijloace umane și bănești.

Așadar, calculatorul preia asupra sa sarcinile de la cercetarea documentară (brevete, publicații, norme) la culegerea de date, efectuînd calcule rapide și de precizie ridicată și comparația diferitelor variante, optimizarea soluției după criterii complexe tehnico-economice, pînă la elaborarea desenelor și a suportului necesar (de exemplu bandă perforată) pentru comanda utilajelor tehnologice, asigurînd totodată atît utilizarea completă a informațiilor existente și respectarea tuturor condițiilor impuse, cît și controlul și înlănțuirea corectă a etapelor de elaborare.

Pionierii activității de proiectare asistată de calculator (PAC) în țara noastră au fost Institutul de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru industria electrotehnică — ICPE, Centrul de organizare și cibernetică în construcții și Institutul de studii și proiectări energetice. În prezent, asemenea preocupări au toate institutele de cercetare și proiectare din domeniul electrotehnicii ca de exemplu :

— programe pentru generarea documentației de fabricație a plăcilor cu circuit imprimat — CCAB, ITC;

— programe pentru realizarea automată a cablajului instalațiilor electrice din sistemele de automatizare, a devizelor și specificațiilor pentru instalațiile de automatizare — IPA;

— programe de analiză și sinteză a circuitelor electronice — ICSITE;

— programe pentru realizarea pe calculator a măștilor circuitelor integrate — ICCE;

— programe pentru calculul cîmpului electric, magnetic, electromagnetic, termic, proiectarea de dispozitive și echipamente electrotehnice (mașini electrice, transformatoare, izolatoare de medie și înaltă tensiune, electromagneți, separatoare magnetice, mașini criogenice și surse solare de energie etc.), documentare automată, bibliotecă de programe tehnico-științifice pentru electrotehnică — ICPE;

— proiectare CTA—ICPT;

— proiectare mașini și transformatoare electrice de mare putere ICSIT-EP Craiova.

Oprindu-ne la PAC în ICPE, se vor enumera cîteva dintre problemele rezolvate pe care le aduce proiectarea asistată de calculator [3—7].

S-au elaborat numeroase *programe pentru dimensionarea mașinilor electrice*, diversificate după tipurile de mașini (asincronă, de înaltă frecvență, cu întrefier axial ș.a.m.d.) și după problematica de destinație (dimensionare, verificarea încălzirii, calculul forțelor, calculul pierderilor ș.a.m.d.). Astfel, s-au elaborat programe pentru :

a. Proiectarea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, pentru anumite forme de crestătură, pe baza unei metodici elaborate în institut (pachetul de programe MOT 1 și MOT 2). Programele permit studiul implicațiilor caracteristicilor materialului magnetic folosit (unda de magnetizare) asupra parametrilor rezultați și asupra posibilităților de realizare a mașinii.

Prin programe se determină fie grupa corespunzătoare unei caracteristici de magnetizare, fie parametri unui anumit tip de motor pentru diferite unde de magnetizare. Pe baza acestor calcule proiectantul alege variantele convenabile.

b. Proiectarea motoarelor asincrone cu rotor cu dublă colivie, turnată din aluminiu (pachetul de programe DUBLA). La început, programul determină dimensiunile optime ale rotorului cu dublă colivie, urmărindu-se obținerea cuplului de pornire și a cuplului maxim dorit, plecîndu-se de la o mașină care realizează toți parametri ceruți, mai puțin caracteristicile de pornire. S-au menținut, pe cît a fost posibil, solicitările electromagnetice ale motorului de bază și s-au determinat dimensiunile dublei colivii astfel, încît să fie îmbunătățită pornirea (funcția obiectivă este factorul de calitate al pornirii $g = m_p/i_p$, iar restricțiile sînt :

$$m_p \geqslant m_{p\,min.};\ i_p \leqslant i_{p\,max.}).$$

Programul face apoi un calcul complet al mașinii, în care însă geometria statorului și elementele de bobinaj sînt date de intrare. În final se face și calculul caracteristicii mecanice pentru a cunoaște o eventuală situație în care ar apare o șa periculoasă.

Programul a fost utilizat pentru un număr mare de motoare (de ordinul sutelor) și pentru o gamă variată de puteri (de la 132 la 280 kW).

c. Proiectarea motoarelor asincrone cu rotor în scurtcircuit (pachetul de programe ULISE). Programul calculează toate variantele de motoare tehnic-corecte, pornind de la un număr redus de date impuse (putere, tensiune, gabarit, lungime mașină).

Făcînd baleierea domeniului pentru o anumită temă de proiectare, programul este deosebit de util ca program de proiectare a seriilor unitare de asemenea motoare.

Prin program se face o proiectare optimizată, prin variația în pași a principalelor mărimi constructive, ierarhizate ca importanță (lungimea

mașinii, numărul de spire, numărul de crestături statorice pe pol și fază; numărul de straturi, numărul de crestături rotorice).

Proiectarea se face pornind de la impunerea pierderilor maxime în mașină. Se introduce curba de magnetizare a materialelor folosite, se elimină variantele de mașină care nu respectă parametrii impuși prin standarde. Pentru variantele acceptate se tipăresc fișa de calcul și estimarea tehnico-economică.

Este admisă, din partea beneficiarului, impunerea de restricții tehnologice sau de material (de exemplu, caracteristicile tolei folosite pot fi introduse ca date de intrare). Circuitul electromagnetic al motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, s-a calculat și după metodica INTERELECTRO, drept date de intrare servind caracteristicile nominale ale motorului (P, Un, f, ...), geometria transversală propusă (diametre, forme, crestături, dimensiunile corespunzătoare acestora pentru stator și rotor), bobinajul aproximat (număr conductori, număr staturi, pas etc.), caracteristicile materialelor active (γ_{Cu}, γ_{Al}, γ_{Fe} etc.).

Ca rezultat al calculului se obțin : geometria transversală finală (optimă), geometria longitudinală, parametrii de funcționare (η, cos φ, n etc.), pentru sarcina nominală, la pornire, la scurtcircuit.

d. Proiectarea optimizată a motorului liniar asincron cu indus masiv. Pachetul de programe calculează parametrii schemei echivalente și caracteristica motorului liniar, pornind de la geometria mașinii și constanta de material.

Modelul matematic este luat din literatura de specialitate și construit în ipoteza neglijării efectului de capăt, dar cu luarea în considerație a secțiunilor de intrare a curentului în indus (efectul de bord).

Trebuie subliniat că utilizarea calculatoarelor electronice pentru calculul seriilor de mașini electrice sau transformatoare, precum și al mașinilor electrice unicat schimbă sensibil modul de abordare a proiectării, dacă se are în vedere că atît optimizarea soluției, cît și precizarea anumitor elemente din metodica de calcul obligă la calcularea prealabilă a cîtorva variante. Pînă la apariția calculatoarelor numerice s-a reușit să se efectueze calculul complet al variantelor pentru optimizarea seriilor de mașini electrice. Parametrii constructivi se alegeau pe baza unui număr limitat de variante calculate, rolul hotărîtor avîndu-l experiența și intuiția proiectantului. Utilizarea deplină a calculatorului electronic numeric nu se limitează în această etapă doar la dimensionarea electrică completă a geometriei mașinii și a înfășurărilor, ci asigură și încadrarea variantelor calculate în zona de optim tehnic și economic.

Proiectarea unor produse moderne — cum sînt, de pildă, generatoarele de impuls de tensiune sau de curent liniar — se face de asemenea, prin utilizarea curentă a calculatorului numeric, la fel ca și în cazul altor produse de mare complexitate din profilul institutului.

Tot cu ajutorul calculatorului s-au elaborat propunerile de tipizare a tolelor mașinilor electrice rotative (MER) și transformatoarelor electrice (TRAFO) fabricate în R.S.R. și de reducere a consumului de tablă electrotehnică.

Pe baza datelor tehnice luate în evidență, prelucrate pe calculator electronic (4 951 sortotipovariante de MER, din care 1 913 tipuri de bază și 3 038 variante și 1 047 tipuri de tole de stator și de rotor), au fost elaborate propuneri privind tipizarea tolelor de MER, precum și propuneri privind reducerea consumului de tablă electrotehnică, prin refolosirea deșeurilor rezultate la ștanțarea tolelor.

Toate datele tehnice privind MER și tolele de MER, încărcate în memoria calculatorului, au fost organizate într-un sistem de evidență al tolelor și mașinilor electrice rotative denumit SET-MER, și au fost puse la dispoziția specialiștilor din industria constructoare de MER (catalog de MER — circuite magnetice, tole, dimensiuni tole de stator și de rotor, diametre exterioare, ale tolelor de stator, în funcție de gabarit, lista MER cu tolele de stator și de rotor corespunzătoare), listele de deșeuri pe întreprinderi (deșeuri de centru-arbore-rotor, deșeuri de exterior-tolă, deșeuri de crestături).

S-a realizat, de asemenea, o bancă de date pentru motoare și generatoare electrice, care cuprinde 6 513 de motoare, fabricate în cele 27 de întreprinderi din țară, și motoarele admise la import începînd din anul 1980 (circa 1 070 de tipuri diferite), precum și 541 tipuri de generatoare electrice.

Elaborarea, cu ajutorul calculatorului, a buletinelor de încercări în vederea omologării motoarelor sincrone (pachetul de programe TORA) permite reducerea timpului de elaborare de circa 10 ori și a costului elaborării buletinului de 2 ori. În mod similar se elaborează și buletinele de încercări pentru motoarele de c.c.

Altă aplicație a constituit-o *elaborarea programelor pentru dimensionarea și testarea automată a centralelor telefonice* din fabricația întreprinderii „Electromagnetica" — București, cuprinzînd programe pentru :

a — dimensionarea C.T.A. și editarea listelor de echipamente rezultate, pe baza condițiilor tehnice impuse de beneficiar (automatizarea răspunsurilor la oferte);

b — elaborarea documentației de fabricație pentru cablajul ramelor C.T.A.;

c — elaborarea programelor de test și a benzii perforate pentru automatizarea verificării funcționării unor circuite ale C.T.A.

Dintre avantajele prelucrării pe calculator a dimensionării centralelor telefonice automate se menționează :

— reducerea timpului de proiectare (de la 3—12 săptămîni la 2—3 ore);

— obținerea simultană a unor loturi de centrală;

— creșterea preciziei calculului prin introducerea unor relații matematice exacte în locul celor empirice;

— reducerea timpului de răspuns la oferte, ceea ce a condus la creșterea competitivității CTA, fabricate la întreprinderea „Electromagnetica", pe piața internațională și, implicit creșterea volumului de export.

Principalele avantaje ale pachetului de programe elaborat pentru realizarea documentației de cablaj constau în:

— verificarea corectitudinii documentelor primare;

— eliberarea de o muncă de rutină a unui important număr din personalul cu studii superioare, care poate fi utilizat pentru o activitate creatoare (de exemplu, elaborarea de noi tipuri de CTA).

Prin elaborarea pe calculator a programelor de test se asigură o reducere masivă a activității de rutină a programatorului de test, prezența acestuia fiind necesară numai în faza de descriere sumară a funcționării echipamentului. Analiza schemei electrice și scrierea secvențelor de program de test se fac automat prin programe interpretative și de calcul.

Pentru aceasta s-a elaborat un pachet de programe care conține 15 programe, grupate în 3 secțiuni.

Prima secțiune conține 6 programe și prelucrează datele de intrare, obținînd schema electrică de bază (în stare inițială), plecînd de la documentul primar elaborat în prezent în uzină.

Secțiunea a doua, formată din 3 programe, controlează dacă instrucțiunile de verificare, conținute în documentul de descriere a funcționării schemelor, sînt corectate din punct de vedere sintactic.

Secțiunea a treia conține programele de calcul efectiv (6 programe) prin care se efectuează analiza automată a circuitelor și generarea programelor de test și a benzii de hîrtie perforate corespunzătoare pentru comanda boxelor de test.

Prin utilizarea pachetului de programe pentru elaborarea programelor de test se reduce substanțial timpul de obținere a acestora și se asigură o verificare riguroasă a datelor de intrare, iar programatorul de test este eliberat de o însemnată cantitate de muncă de rutină.

La foarte multe echipamente electrotehnice interesează solicitările distribuite (electrice, termice, mecanice). Metodele analitice tradiționale limitează rezolvările posibile numai la probleme relativ simple, în majoritatea cercetărilor evitîndu-se studii asupra cîmpurilor și apreciindu-se, unde este posibil, efectele acestor distribuții prin scheme echivalente (cu parametri concentrați).

Metodele numerice permit studiul solicitărilor distribuite, acestea folosind, de regulă, metoda diferențelor finite, pentru structuri cu geometrie simplă și metoda elementelor finite, pentru contururi mai complicate.

Pentru calculul *cîmpurilor electromagnetice și termice* s-a elaborat un sistem de programe, utilizate, în primul rînd, pentru proiectarea de echipamente de înaltă tensiune, separatoare magnetice, aparate de măsură, surse de energie solară, elemente criogenice etc.

Generalitatea metodei elementului finit față de geometria domeniului, iar într-o anumită măsură și față de forma operatorului diferențial, a permis transformarea modelării numerice a cîmpului într-o prestație științifică curentă.

Potențialul electric a fost calculat pentru probleme specifice tehnicii tensiunilor înalte: laboratoare ecranate de înaltă tensiune; izolatoare în aparataj capsulat, în gaz sub presiune; izolatoare ceramice (trecere, suport, suspensie).

În afara obținerii potențialului în noduri, cu ajutorul unor programe speciale se procedează la selectarea și desenarea automată a liniilor echipotențiale, obținîndu-se astfel o imagine sintetică a solicitărilor din izolație.

În toate cele trei grupe de aplicații sus-menționate modelarea numerică a permis evidențierea performantă a unor solicitări intime, invizibile, care altfel erau estimate grosier, sau, de cele mai multe ori, se renunța la fundamentarea științifică a soluțiilor elaborate de proiectant. În loc de construirea mai multor variante experimentale din produsul respectiv, care să fie încercate fiecare în parte, se face aceeași cercetare cu creionul, hîrtia și calculatorul. Evident, se obțin pe această cale economii prin reducerea cheltuielilor materiale (evitarea construirii modelelor), reducerea manoperei de încercare și, mai ales, a unei manopere de proiectare înalt calificate. Viteza de proiectare a noilor produse crește considerabil și se execută de la început varianta constructivă ce oferă performanțe apropiate de cele maxime din punct de vedere tehnico-economic.

Modelarea distribuției de cîmp electromagnetic prin metoda elementului finit a intrat în preocupările ICPE începînd din anul 1974.

Calculul cîmpurilor magnetice se poate face apelînd fie la potențialul magnetic scalar, fie la potențialul magnetic vector. În majoritatea covîrșitoare a cazurilor se folosește potențialul magnetic-vector pentru tratarea cîmpurilor magnetice solenoidale și potențialul magnetic scalar pentru rezolvarea distribuțiilor de cîmp magnetic, generate de magneți permanenți. Fiecare din aceste opțiuni este motivată, de regulă, de scrierea unor modele matematice (ecuații, condiții de frontieră etc.) mai bine

adaptate particularităților acestor două tipuri de surse de cîmp magnetic și, deci, mai ușor de rezolvat.

Cu pachetul de programe al ICPE pentru modelarea distribuțiilor de cîmp prin metoda elementului finit s-au rezolvat atît probleme de potențial-vector, cît și cu potențial scalar. Acest pachet de programe oferă și posibilitatea de prezentare a distribuției funcției calculate sub formă pseudocontinuă, grafic, prin selectarea și trasarea automată a liniilor de egală valoare. Aceste spectre de linii de cîmp sînt deosebit de utile din punct de vedere ingineresc. De pildă, în cazul potențialului electric (scalar), liniile echipotențiale permit aprecierea rapidă, cu ochiul liber, a concentrațiilor intensității cîmpului electric, ca și alte aspecte interesante din punct de vedere tehnic.

În cazul cîmpurilor magnetice solenoidale s-a utilizat potențialul magnetic-vector, liniile de egal potențial variind cu liniile fluxului magnetic. Prin calcularea și trasarea automată a spectrului fluxului magnetic se obține, într-o formă sugestivă, imaginea distribuției cîmpului magnetic. Ea permite observarea concentrărilor de cîmp și permite, în general, compararea rapidă a diferitelor variante constructive din punctul de vedere al distribuției cîmpului.

Programele de calcul al cîmpului magnetic în mediu neliniar răspund unei importante necesități pentru electrotehnică, ele permițînd de exemplu, modelarea distribuțiilor de cîmp în separatoarele magnetice de metale rare, preocupare de mare însemnătate pe linia punerii în valoare a unor resurse minerale sărace în conținut util.

Separatoarele magnetice, prin modul lor de funcționare, comportă circuite magnetice cu o configurație în general complicată. Determinarea operativă, prin calcul manual, a valorilor cîmpului în asemenea configurații, la o precizie satisfăcătoare, este practic imposibilă. De aici rezultă utilitatea software-lui care să permită obținerea distribuției cîmpului, îndată după precizarea elementelor circuitului magnetic și a excitației, în scopul optimizării acestora.

Precizia calculului de cîmp depinde în mare măsură de exactitatea cu care rețeaua de calcul urmărește forma circuitului magnetic.

Din acest punct de vedere, metoda elementului finit s-a dovedit superioară metodei diferențelor finite. Prezentînd o mare adaptabilitate la diversele forme de domeniu, această metodă permite elaborarea unui pachet de programe general, care poate fi folosit pentru diverse aplicații, fără a suferi modificări.

Ulterior, aceste programe au fost extinse, urmărindu-se obținerea unui pachet de programe cu posibilități multiple din punctul de vedere al facilităților oferite utilizatorului. S-a obținut în felul acesta pachetul de programe MELFIT 2 cu următoarele funcțiuni:

— crearea rețelei;
— verificarea rețelei prin desenare la graph-plotter;
— completarea matricei sistemului;
— rezolvarea iterativă a sistemului și determinarea valorilor potențialului în nodurile rețelei;
— selectarea și trasarea liniilor echipotențiale;
— calculul mărimilor derivate (gradienți normali sau tangențiali, inducții, valori ale intensității cîmpului).

Acest mod de organizare a aplicației permite rularea cu ușurință deosebită a mai multor variante pe aceeași rețea, fără a face modificări în rețea și fără a recalcula pentru fiecare variantă în parte mărimile care depind numai de geometria domeniului (dimensiunile domeniului, coordonate). Pentru fiecare aplicație se reține pe disc magnetic un set de date cu dimensiunile geometrice ale domeniului de calcul și valorile de potențial rezultate pentru fiecare variantă. Pentru problemele neliniare se rețin pe disc magnetic valorile rezultate după un număr de iterații, putîndu-se, în felul acesta, relua calculul.

Prin natura ei, metoda elementului finit implică calculul cîmpului în toate nodurile discretizării domeniului de calcul, în timp ce metoda elementului de frontieră permite determinarea potențialului în interiorul domeniului, în punctele de interes indicate de utilizator, plecînd de la discretizarea frontierei.

Specific pentru proiectarea asistată de calculator a servomotoarelor de curent continuu cu întrefier axial și rotor-disc (geometrie, calcul cîmp, performanțe) este tocmai faptul că pentru calculul cîmpului inductor (pentru Alnico în 2D) s-a folosit metoda elementului de frontieră, fiind cea mai adecvată în acest caz, deoarece interesau solicitările electrice doar în cîteva puncte din interiorul domeniului.

Preocupările privind problemele de cîmp termic au urmărit punerea la punct a unui pachet de programe care să poată fi aplicat la determinarea evoluției temperaturii în siguranțe fuzibile, la probleme de tratament termic și proiectare de surse solare de energie.

Evidențiind principalele solicitări din instalație, modelarea digitală a distribuțiilor de cîmp permite optimizarea construcției înainte de realizarea ei, ceea ce duce la scurtarea sensibilă a duratei de asimilare a produselor noi și la însemnate economii de materiale și manoperă. De exemplu, pentru pregătirea modelului fizic al unei singure variante de instalație capsulată cu SF_6, în vederea determinării cîmpului și a gradienților pe armătură și pe izolator, sînt necesare cel puțin 4 luni. Pregătirea aceleiași variante pentru studiul ei pe calculator se face în circa 3 zile. În plus, studiul pe calculator permite o ușoară trecere de la o variantă la

alta, ceea ce dă posibilitatea specialiştilor să aleagă în aproximativ o săptămînă varianta optimă.

Modelarea cîmpurilor pentru proiectarea izolatoarelor de trecere din fabricaţia întreprinderii „Electroceramica" — Turda permite reducerea perioadei de proiectare de la 18 luni la 3 luni; reducerea anuală, la o producţie de 100 000 buc. izolatoare/an, a consumului de metal cu 36 tone şi a consumului de argint coloidal cu 32 kg.

Plecîndu-se de la recuperatorul pentru cuptoare de forjă, aşezat pe cuptor, cu debitul de combustibil de 30 litri/oră, proiectat şi realizat de I. P. Cluj-Napoca, s-a făcut pe calculator *proiectarea recuperatoarelor de căldură*, cu ţevi netede pentru cuptoare cu debite de combustibil 13 l/h, 43 l/h, 60 l/h, şi 77 l/h, considerînd temperatura aerului la intrarea în recuperator 20°C şi temperatura aerului furnizat de recuperator de 400°C. Pentru un anumit număr de tipuri de recuperatoare, stabilit de beneficiar (Institutul de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru sectoare calde), s-au trasat pe graph-plotter secţiuni prin recuperator.

În cadrul acţiunii generale de reducere a pierderilor de energie, unităţile economice au obligativitatea periodică de *calculare a bilanţurilor energetice proprii*. În cazul unităţilor economice mari, cu reţea internă de distribuţie a energiei electrice de mare complexitate, este de neconceput calcularea manuală a bilanţurilor electroenergetice. Pentru realizarea cu ajutorul calculatorului electronic a bilanţurilor energetice s-a elaborat pachetul de programe BILA, aflat în exploatare curentă la centrul de calcul ICPE, ponderea efortului deplasîndu-se astfel din partea de calcul către obţinerea cu acurateţe a unor măsurători cît mai complete pe teren.

Programele întocmite în limbaj Fortran, pe baza datelor existente în întreprindere şi a celor rezultate în urma măsurătorilor pe teren, permit trasarea histogramei sarcinilor active şi reactive în fiecare punct de măsură, repartizarea energiei pe secţii şi tipuri de consumatori, calculul de pierderi de energie active, reactive, cos φ şi trasarea grafică a curbelor de sarcină activă şi reactivă zilnică, reprezentarea diagramei Sankey pentru ziua respectivă aleasă şi pentru un an.

Aşa, de exemplu, numai bilanţurile energetice elaborate pentru 6 întreprinderi au scos în evidenţă economii posibile de 3,5 mil. kWh/an.

În sprijinul proiectării s-au alcătuit *programe de desenare automată* a secţiunilor transversale, respectiv longitudinale printr-o maşină electrică. Programul de reprezentare a secţiunii transversale a motorului asincron este de maximă generalitate, pentru calculul reprezentării fiind necesar un număr restrîns de date constructive.

Dat fiind că subprogramele de firmă (pentru drepte, cercuri, elipse, caractere alfanumerice, axe gradate, aproximări de curbe ş.a.m.d.) s-au dovedit insuficiente, s-au elaborat subprograme specializate pentru trasarea liniilor de ax şi de cotă în desenul tehnic, pentru cicloide, evolvente şi alte programe auxiliare.

În ultima perioadă s-au dezvoltat metode de reprezentare a corpurilor tridimensionale şi a suprafeţelor tridimensionale prin proiecţii plane de tip axonometric sau în perspectivă cu corecţie sferică, astfel ca reprezentările obţinute să se apropie foarte mult de imaginea vizuală pe care ne-o formăm asupra unui anumit obiect.

S-a deschis, astfel, un nou domeniu de utilizare a graph-plotter-ului. Metodele de discretizare puse la dispoziţie de analiza numerică oferă cercetătorului o cantitate imensă de valori numerice care trebuie comparate şi clasificate. Nu de puţine ori aceste rezultate reprezintă o suprafaţă tridimensională de tip funcţie, iar desenarea automată a acesteia oferă un mijloc de cercetare calitativ superior tabelului de valori numerice. În general, astfel de reprezentări nu au echivalent în metodele tradiţionale de cercetare, reprezentînd un salt calitativ.

Prin suprafaţă de tip funcţie se înţelege o suprafaţă dată prin ecuaţia:

$$Z = f(x, y),$$

unde f este o funcţie cunoscută sau un algoritm prin care se obţine suprafaţa.

Pentru proiectarea unui complex spaţial, raportat la un sistem de axe ortogonale ($oxyz$), pe un plan (ouv), prezintă interes practic următoarele trei transformări:

1 — transformarea axonometrică de coordonate;

2 — proiecţia unghiulară pe un plan;

3 — proiecţia unghiulară pe o sferă şi desfăşurarea sferei pe un plan tangent.

Transformarea axonometrică de coordonate păstrează egalitatea distanţelor dintre puncte, dar deformează unghiurile din spaţiu.

Proiecţia unghiulară pe un plan introduce senzaţia de perspectivă în adîncime, dar nu introduce perspectiva pe orizontală şi pe verticală.

Proiecţia unghiulară pe o sferă şi desfăşurarea sferei pe un plan tangent conduce la obţinerea unei reprezentări foarte apropiate de imaginea care se formează pe retina ochiului; se introduce senzaţia de perspectivă pe toate direcţiile.

Pachetul de programe realizat permite reprezentarea la graph-plotter, prin proiecţie axonometrică sau, în perspectivă, a suprafeţelor tridimensionale de tip funcţie. Acelaşi model poate fi utilizat şi pentru reprezentarea corpurilor tridimensionale. Pachetul este conceput pentru prezentări axonometrice cu orice unghiuri dorite între axele de proiecţie, iar reprezentările în perspectivă se calculează şi se trasează pentru orice punct de observare şi orice

direcție a perspectivei. La acestea din urmă se face corecția sferică. După dorință, corpul poate fi considerat translucid, opac sau parțial translucid, parțial opac.

Pachetul de programe este compus dintr-un modul principal, module auxiliare și o bibliotecă de subprograme.

Modulul principal execută generarea curbelor de intersecție între familia de plane și suprafață și reprezentarea la graph-plotter a configurației rezultate. Execută, de asemenea, tranformări de coordonate din spațiul R^3 în planul desenului.

Modulele auxiliare sînt create și utilizate pentru:

— facilitarea accesului la informațiile stocate în forme particulare, așa cum au rezultat din algoritmi speciali de calcul numeric al unor funcții definite pe domeniul bidimensional (calcule de cîmp prin elemente finite sau diferențe finite, analiză Fourier a unor semnale periodice etc.);

— salvarea și restaurarea unor configurații stocate în fișiere de editare în modul de lucru OFF-LINE.

Biblioteca de subprograme este formată din:

— subprograme pentru graph-plotter conținînd atît subrutine de firmă, cît și alte subrutine cu caracter general utilizate pentru optimizarea lucrului cu graph-plotter-ul;

— subprograme pentru executarea transformărilor de coordonate din R^3 în R^2;

— subprograme pentru rezolvarea unor probleme specifice de geometrie plană sau în spațiu.

Pentru construirea automată a desenelor de execuție în două dimensiuni, destinate utilizatorilor nespecialiști în informatică, s-a elaborat limbajul DASCAL, realizat în FORTRAN, care are o mare portabilitate datorită izolării în subrutine speciale a operațiilor care sînt specifice unei anumite categorii de calculatoare.

Acest limbaj permite o conversație eficientă cu calculatorul a cercetătorilor, în special datorită caracterului foarte consistent al informațiilor codificate aritmetic.

Limbajul DASCAL a fost folosit la elaborarea desenelor tehnice pentru proiectarea automată a giromotoarelor, a motoarelor cu rotor-disc etc., și poate fi util pentru realizarea unei arhive de desene standardizate, în special, de SDV-uri.

În scopuri tehnologice, graph-plotter-ul comandat prin program realizează lucrări în sprijinul construcțiilor de mașini cum sînt: trasarea planurilor de debitare a tablei (pentru mașina de debitare automată cu copiere optică), trasarea planurilor de găurire a colectoarelor pentru cazanele de abur din termocentrale etc. În acest ultim exemplu desenarea planului de găurire are caracter de simulare a operațiunii de găurire la mașina cu comandă numerică. Pe baza programului tehnologic, în afară de desenare, calculatorul generează totodată și banda perforată pe care se detaliază programul tehnologic de găurire. Dacă în urma controlului uman, din partea tehnologului, simularea satisface intenția programului tehnologic, mașina-unealtă se va conduce după comenzile conținute în banda perforată. Asemenea operațiuni realizate în beneficiul uzinelor „Vulcan" din București evită execuția „pe viu" a programelor tehnologice eronate și rebutarea unor piese de mari dimensiuni din oțeluri speciale din import, asigurînd totodată o importantă economie de manoperă.

O anchetă mai veche, efectuată de ICPE, privind: identificarea și inventarierea produselor electrotehnice pentru care au trebuit elaborate programe de calcul în vederea proiectării lor automate; inventarierea programelor de proiectare automată asistată de calculator existente, a problemelor rezolvate de acestea, a performanțelor lor și a efortului necesar pentru elaborarea lor; evidențierea programelor cu caracter general în vederea dezvoltării și tipizării lor ca programe de bibliotecă și a efortului necesar pentru aceasta, trimisă la 110 unități, din care a reieșit că programele de bibliotecă tehnico-științifică pentru electrotehnică prezintă interes, în primul rînd, pentru institutele de cercetare, proiectare și inginerie tehnologică și de învățămînt superior, a căror principală preocupare constă în elaborarea de noi produse, și pentru întreprinderile și centrele industriale care au sarcina asimilării de produse noi și a modernizării produselor existente.

Programele prezintă un interes mai redus pentru centrele de calcul din industrie, deoarece în prezent activitatea principală a acestora este orientată spre conducerea economică a întreprinderilor. Principalii elaboratori sînt ICPE, Centrul de cercetare științifică și inginerie tehnologică „Electroputere" — Craiova, ITC, IPA și facultățile de electrotehnică ale institutelor de învățămînt superior, ceea ce arată că în țara noastră există preocupări pentru proiectarea cu ajutorul calculatorului a produselor realizate de diferite ramuri industriale ale economiei, precum și în construcții și energetică. Cu excepția ultimelor două domenii, această preocupare nu este încă suficient coordonată centralizat, cu toate eforturile făcute în ultimii doi ani de CNST, ICI, ICMUEE, ICCM. Din această cauză se irosesc importante forțe de concepție, se efectuează lucrări în paralel și de nivel calitativ diferit, nu se optimizează soluțiile, ceea ce face ca multe din produsele noastre să nu fie competitive cu produsele similare străine din punct de vedere al performanțelor tehnice, de gabarit și greutate, al fiabilității și indicatorilor economici, avînd consecințe negative asupra economiei de materiale și a participării țării noastre la schimbul internațional de valori materiale și spirituale.

Analizînd răspunsurile primite din punct de vedere al tematicii, a reieşit că un mare număr de programe a fost elaborat în cadrul bibliotecilor tehnico-ştiinţifice şi reprezintă programe cu caracter general (metode numerice de rezolvare a ecuaţiilor diferenţiale, algebră liniară, integrare numerică) de desenare automată etc.

Majoritatea programelor folosesc o configuraţie curentă în ţară, compusă din calculator cu memorie internă 32—128 ko, 1—2 discuri magnetice, 1—2 unităţi de bandă magnetică, cititor de cartele şi imprimantă. Numărul terminalelor moderne (de vizualizare sau grafice) a crescut numai în ultimul an, cînd au apărut şi primele sisteme dedicate PAC-DIAGRAM 2030, Felix M118 GS, sistemele Independent cu mesele de desenat ARISTO.

Cît priveşte documentaţia existentă pentru programele elaborate se constată că circa jumătate din programe au documentaţie completă (schemă de sistem, schemă logică, exemplu de control, instrucţiuni de exploatare, descriere detaliată, instrucţiuni de utilizare şi prospect) sau minim necesară (schemă logică, exemplu de control, instrucţiuni de utilizare), ceea ce limitează evident, posibilităţile de folosire a programelor şi de către alţi beneficiari decît cei iniţiali.

Din cele de mai sus rezultă necesitatea intensificării activităţii de catalogare a programelor elaborate, înregistrarea acestora pe suport magnetic şi de elaborare a unei documentaţii complete. Numai în acest mod se va putea realiza tipizarea, generalizarea, validarea şi omologarea lor ca programe de uz general pentru cercetare şi proiectare în industria electrotehnică.

Pentru elaborarea programelor, dat fiind aria mare de preocupări, solicitările de personal de cercetare pentru analiza tehnică a problemelor şi de informatică au fost variate, rezultînd că pentru elaborarea unui program de rezolvare a unei probleme concrete, pentru un anumit beneficiar, este nevoie în medie de aproximativ 3 oameni x an. Totodată a reieşit că programele pentru electrotehnică sînt complexe, constatîndu-se o pondere însemnată a programelor care folosesc o memorie de peste 64 ko.

Din păcate, introducerea utilizării calculatoarelor în activitatea de concepţie nu este încă privită la nivelul întreprinderilor şi centralelor industriale ca un puternic factor de progres tehnic, nu se desfăşoară o acţiune sistematică, organizată, de sensibilizare a cadrelor de conducere a întreprinderilor şi compartimentelor de concepţie ale acestora pentru a folosi din plin şi pe scară largă sprijinul pe care-l poate acorda tehnica de calcul în activitatea lor de fiecare zi şi a obţine soluţiile optime, impuse de exienţele actuale ale ştiinţei şi tehnicii, ale diviziunii internaţionale a muncii şi ale necesităţii de a utiliza raţional, economic, toate mijloacele materiale, umane, financiare şi valutare. Este necesar să se înţeleagă că tehnica de calcul este un instrument puternic, de mare eficienţă, în mîna întregului personal de concepţie, care, în acest fel, poate obţine economii concrete, directe, reale la realizarea oricărui produs şi o creştere accentuată a calităţii acestuia şi a productivităţii muncii în activitatea proprie şi în fabricaţia produsului respectiv.

Reţinerea existentă în utilizarea pe scară largă a calculatorului pentru automatizarea proiectării se datoreşte atît complexităţii şi studierii încă incipiente a proceselor de gîndire creatoare la om, cît şi lipsei de metode fundamentate ştiinţific de rezolvare a problemelor în regimul conversaţional om-maşină.

Soluţia eficientă a PAC constă în elaborarea de programe, dar mai ales pachete de programe, cu un grad mare de generalizare cu parametri variabili, care iau diferite valori, de la un utilizator la altul, de la un caz particular la altul. Aceasta are drept consecinţă elaborarea unui program mai complex, dar general valabil (în locul unor programe mărunte, de interes redus) şi a cărui elaborare se face cu cheltuieli umane şi materiale mult mai reduse şi într-un timp mult mai scurt, în comparaţie cu cheltuielile şi durata totală de elaborare a tuturor programelor particulare avînd aceeaşi temă.

Astfel de produse informatice (programe, pachete, sisteme, biblioteci de programe) de aplicabilitate generală pentru produsele electrotehnice trebuie elaborate unitar şi apoi colecţionate în biblioteca de programe tehnico-ştiinţifice pentru electrotehnică—BIBTEHELECTRO — pentru a fi popularizate şi difuzate oricărui utilizator interesat, activitate iniţiată de ICPE încă din 1979.

Este cunoscut că toate firmele constructoare de calculatoare livrează, odată cu programele de bază, şi o serie de programe de aplicaţii pentru rezolvarea problemelor matematice de uz general (MATLIB — biblioteca de programe matematice), dar fiecare utilizator îşi elaborează programele proprii. În ţările industrial dezvoltate toate marile firme sînt dotate cu puternice centre de calcul pentru proiectarea cu ajutorul calculatorului a principalelor produse. Bibliotecile de programe realizate în acest scop, reprezentînd un însemnat aport de inteligenţă şi un mare efort de muncă intelectuală de foarte înaltă calificare, nu sînt puse decît la dispoziţia filialelor firmei respective sau a celor cu care aceasta are organizată o cooperare industrială. De aceea, posibilitatea accesului la astfel de programe este foarte redusă sau aproape imposibilă pentru unităţi din exteriorul firmei, iar problema obţinerii lor nu se poate pune, în cel mai bun caz cu bani grei, decît dacă se cumpără o licenţă.

În ceea ce priveşte ţările socialiste, avînd în vedere importanţa şi eficienţa automatizării cu ajutorul calculatorului a lucrărilor de cercetare-proiectare pentru introducerea în ritm rapid a

cuceririlor revoluției tehnico-științifice contemporane, a fost organizată din 1974, în cadrul Comisiei Interguvernamentale pentru Tehnica de Calcul, colaborarea multilaterală pentru crearea și introducerea sistemelor de automatizare a lucrărilor de proiectare-cercetare (SAPR) în domeniul construcției de mașini, construcțiilor, radioelectronicii, electrotehnicii și construcției de aparate, activitate la care participau în 1977 peste 134 organizații ale țărilor membre. În același scop, în cadrul Comisiei Interguvernamentale pentru Tehnica de Calcul a fost creată Grupa de lucru pentru sistemele de automatizare a activității de proiectare-cercetare în industrie și construcții (RG po SAPR).

În concluzie, se menționează că orientarea spre elaborarea de programe tehnico-științifice parametrizabile pentru electrotehnică și organizarea bibliotecii de astfel de programe — BIBTEHELECTRO — în țara noastră corespunde priorităților actuale pe plan mondial privind automatizarea activității de cercetare-proiectare și prevederilor documentelor de partid și de stat, asigurînd nu numai produse de calitate superioară și cu consum redus de materiale și energie, dar și creșterea deosebită a productivității activității de concepție și a posibilităților de participare la colaborarea tehnico-științifică internațională și schimbul mondial de valori spirituale și materiale.

Bibliografie

[1] 01 Informatique nr. 567, 19 nov. 1979.

[2] Sbornik normativno-tehniceskih documentov po organizații sotrudnicestva v oblasti razrabotki prikladnogo programnogo obespecenia ES EVM i SM EVM — KȚ MPK, Moscova, 1977.

[3] *Diaicu, E., Slănină, M.* Programe pentru aplicații tehnico-științifice în electrotehnică. Comunicare prezentată la al IV-lea Simpozion „Informatică și conducere", Cluj-Napoca, 10—13 mai 1978.

[4] *Diaicu, E., Avram, I., Della Giacomo, Er., Olaru, M.* Biblioteca de programe pentru electrotehnică. Lucrare ICPE 28—346, București 1979, 1980.

[5] *Diaicu, E.* Proiectarea asistată de calculator în electrotehnică. AMC nr. 37, București, Ed. tehnică, 1983.

[6] *Tănăsescu, Fl. T.* ș.a. Experiența ICPE în domeniul automatizării informării științifice și tehnice pentru electrotehnică. Sistemul automatizat ARIEL. Comunicare la sesiunea „Calculatoarele electronice în cincinalul revoluției tehnico-științifice", ICI, București, 23—25, dec 1978.

[7] ICPE—CCE, LCSACEE — Materialele ședinței CPAC de la ICPE — București din 10 aprilie 1984.

CZ 621.311.338

CALITATE PRODUSE ELECTROTEHNICE

Cercetări în domeniul atestării calității dezvoltate în I.C.P.E.

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, IOAN BOCONCIOS, PETRU ARABADJI, OLGA PAPAGHEORGHE, TEODOR ROGOZ

Calitatea, noțiune indispensabilă pentru orice produs, din orice domeniu de folosință, concepută încă din activitatea de cercetare-dezvoltare, este strîns legată de disciplina muncii, de organizarea corectă a fluxurilor de producție și, nu în ultimul rînd, de pregătirea profesională a celor ce execută produsul și efectuează încercările în vederea stabilirii performanțelor tehnice ale acestuia.

Preocupări în domeniul atestării calității produselor electrotehnice există încă din anul 1952, cînd s-a constituit, pentru prima oară în această industrie, un serviciu de omologări de produse noi și modernizate. Acesta a funcționat neîntrerupt pînă în prezent în cadrul ICPE, îmbogățindu-și în permanență preocupările și perfecționîndu-și activitatea, atît din punct de vedere tehnic, cît și organizatoric.

Pe linia stabilirii unui cadru metodologic și organizatoric unitar privind atestarea calității produselor electrotehnice, specialiștii din ICPE au contribuit direct la elaborarea ordinelor MICM și MIMUEE care reglementează procesul de asimilare în fabricație a produselor noi și modernizate (ordinele 5/60; 130/71 și 80/82)și au asigurat apoi implementarea lor corectă în întreprinderi, prin metodologii și instrucțiuni. Sistemul implementat în cadrul ministerului a fost acceptat și de IGSCCP, care a început să îl aplice și celorlalte ramuri ale tehnicii industriale. Odată cu crearea laboratoarelor specializate și dotarea lor cu echipamente și aparatură corespunzătoare au început să fie abordate tot mai mult și probleme de cercetare privind tehnica încercărilor produselor electrotehnice și electronice.

Una din primele teme abordate, datorită importanței ce o prezintă, a fost *verificarea securității de utilizare a aparatelor electrice și electronice destinate populației*. În acest scop, în cadrul ICPE au fost dezvoltate dispozitive speciale de verificare a acestor condiții, în concordanță cu standardele internaționale CEI. În urma colaborării cu laboratoarele similare din Anglia, Franța, Ungaria și URSS acestor dispozitive li s-au adăugat instalații realizate în conformitate cu standardele CEI și CAER, pentru determinarea performanțelor de utilizare a unor familii de produse.

O altă temă de mare actualitate, *rezistența materialelor electroizolante la căldură excesivă, foc și curenți de fugă pe suprafață*, a fost abordată prin realizarea, după concepția originală a specialiștilor noștri, a aparaturii de încercare, care reproduce condițiile indicate de standardele internaționale CEI și CAER și normele germane VDE. Aceasta a permis determinarea acestor parametri la materialele izolante elaborate în țară, care înlocuiesc importuri costisitoare, determinări ce au trezit mare interes la institutele de specialitate japoneze care au preocupări similare.

Un alt grup de probleme importante și anume *încercările mecanoclimatice*, privind transportul și depozitarea produselor, au făcut obiectul unui studiu, care s-a completat cu concluzii și pentru produsele cu destinație specială. Rezultatele studiului și îndrumările date de specialiștii din ICPE au contribuit, astfel, direct la stabilirea unor condiții constructive, care să corespundă unor exigențe ridicate ale beneficiarilor interni și externi.

Un domeniu de mare actualitate pe plan național și mondial, în care s-a simțit acut nevoia unor abordări, precum și a unor elaborări de metodologii și îndrumări, a fost acela al fiabilității. În acest sens, un colectiv din ICPE în colaborare cu specialiștii din cadrul comitetului tehnic 56 al CEI și comitetului de fiabilitate CAER, a elaborat atît metodologia generală de organizare a culegerii datelor din exploatare, cît și îndrumări practice privind prelucrarea acestor date, rezultate din exploatare sau încercări de laborator. Pentru specializarea personalului din unități de cercetare și din întreprinderi, în cadrul ministerului s-au organizat cursuri de fiabilitate și mentenabilitate, la care au fost prezentate conferințe-lecții, urmate de aplicații practice de determinare a indicatorilor de fiabilitate. Prelucrările de date asupra comportării în exploatare a echipamentului electric pentru metrou, a echipamentelor montate pe instalații de ridicat ca și acelea ale ascensoarelor au stat la baza unor consfătuiri, la care s-au stabilit măsuri de îmbunătățire a calității acestor produse.

Un domeniu foarte important, legat de produsele destinate exportului, a fost acela al atestării calității produselor realizate pentru medii climatice deosebite : tropical, marin, rece, naval.

Tehnica încercărilor acestor produse a constituit teme de cercetare foarte laborioase, urmărirea comportării unor eșantioane în stații de expunere cu parametri climatici echivalenți, prelucrarea rezultatelor și gradarea nivelelor de severitate pentru încercări de căldură umedă, ceață salină, mucegai, frig, precipitații, hidrogen sulfurat etc. Rezultatele obținute în acest sens, prescripțiile și metodologiile elaborate, încercările efectuate au făcut ca ICPE să

fie recunoscut ca organ de specialitate pe întreg ministerul privind atestarea calității produselor pentru medii climatice deosebite, aducîndu-și, în acest fel, o contribuție deosebit de importantă în promovarea la export a produselor românești.

Cercetarea în domeniul *protecției climatice a produselor industriale* este orientată pe trei direcții :

— stabilirea materialelor posibil de utilizat în diferite condiții climatice ;

— stabilirea metodelor și tehnologiilor de protecție a produsului față de acțiunea factorilor climatici ;

— alegerea metodologiei de încercare, în scopul verificării calității produselor.

În ICPE, unde funcționează un compartiment de cercetare specializat în astfel de probleme, cele trei direcții sînt abordate concomitent, în strînsă legătură cu participarea unui mare număr de specialiști, atît din cadrul institutului, cît și din cele circa 150 unități din țară cu care există permanente legături de colaborare.

Caracteristic compartimentului de cercetare din domeniul protecției climatice din ICPE este activitatea de sinteză a rezultatelor obținute din cele trei surse principale : cercetările proprii ale institutului, experiența și cercetările existente în întreprinderile din țară și experința dobîndită pe plan internațional. Pe baza analizei acestor date, compartimentul elaborează și perfecționează permanent „filozofia" generală a protecției climatice a produselor, asigurîndu-i o aplicare unitară în țară, evident, ținînd seama de particularitățile constructiv-funcționale ale fiecărui produs în parte.

Privită dintr-un alt punct de vedere, activitatea de protecție climatică în ICPE se desfășoară pe coordonatele cercetare-îndrumare-atestare, fiecare dintre ele reprezentînd o activitate de sine stătătoare, dar aflîndu-se într-o relație logică de acumulare de cunoștințe — difuzare în întreaga industrie — verificare practică a viabilității lor și a corectitudinii de aplicare.

Ca urmare a politicii de dezvoltare permanentă a bazei materiale, compartimentul de specialitate din institut dispune în prezent de utilaje de condiționare climatică, unele dintre ele cu volume cuprinse între 20 și 30 m³, capabile să realizeze condiții de încercare dintre cele mai diferite (temperaturi cuprinse între —70 și + 300°C, umidități relative de pînă la 100 %, radiații solare artificiale, ceață salină, imersie alternată nisip și praf, medii chimice agresive etc.).

O mare importanță o au, de asemenea, stațiile de încercare în climat natural (4 în diferite climate din țară și 2 în țări cu climate tropicale).

După aproximativ 30 de ani de activitate, se poate afirma că experiența dobîndită în domeniul protecției climatice este apreciabilă, iar gradul de încredere al recomandărilor și instrucțiunilor oferite de specialiștii ICPE este ridicat.

Cu toate că una din preocupările specialiștilor institutului este de a modifica în măsură cît mai mică produsele climatizate față de cele în execuție normală, prin soluțiile de protecție propuse se realizează un cîștig substanțial din punct de vedere al rezistenței climatice.

Figura 1 prezintă aspectul a două alternatoare pentru autoturismul „Dacia 1300" realizate de întreprinderea „Electroprecizia" — Săcele expuse timp de 18 luni în condiții climatice severe — pe malul Mării Negre — în categoria a doua de exploatare.

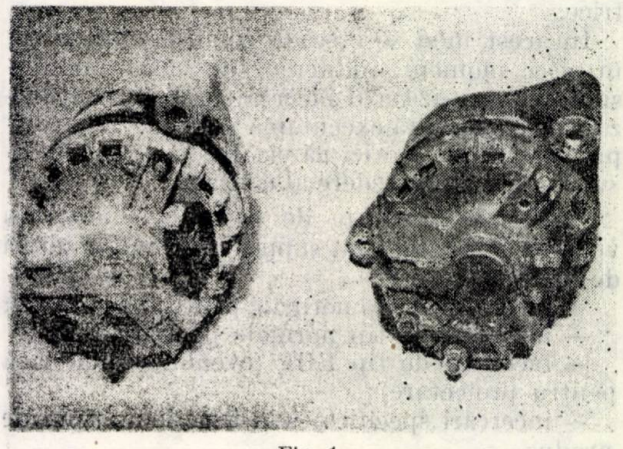


Fig. 1.

Diferența de comportare este netă. În timp ce produsul din stînga figurii, realizat în execuție normală (pentru climat temperat) prezintă o coroziune avansată a scuturilor și bornelor și este complet ieșit din funcțiune, avînd axul blocat, alternatorul din dreapta figurii, realizat pentru climat tropical umed își păstrează încă un aspect corespunzător, prezentînd numai slabe urme de degradare și fiind în perfectă stare de funcționare.

Programul național privind realizarea de centrale electrice nucleare, la care industria noastră trebuie să participe în mod foarte activ, a pus în fața ICPE probleme deosebit de importante și dificile.

Programul pentru asigurarea calității activităților de încercare a produselor electrotehnice, electronice și de automatizare s-a impus ca o necesitate la realizarea și exploatarea obiectivelor nucleare, care impun ca toate serviciile să se desfășoare în condiții strict controlate la un nivel înalt de calitate, pentru a asigura securitatea instalațiilor, protecția populației, mediului înconjurător, bunurilor materiale, precum și a obținerii unei înalte eficiențe economice.

Pentru realizarea acestei sarcini, de o deosebită actualitate în cadrul institutului nostru, s-a implementat un program de asigurare a calității încercărilor pentru produsele destinate CNE, avînd la bază „Manualul de asigurare a calității", MAC cod AC.01. Manualul cuprinde

organizarea asigurării calității în ICPE, reviziile sistemului de asigurarea calității și funcțiile sistemului de asigurarea calității. Prevederile referitoare la organizarea și dimensionarea sistemului de asigurarea calității se bazează pe ideea ca respectivul sistem să fie fundamentat pe structura organizatorică actuală a institutului, completată cu Laboratorul de cercetarea calității pentru centrale nuclearoelectrice. Au fost prevăzute sarcini și responsabilități concrete atît pentru membrii acestui laborator, cît și pentru șefii de secții, laboratoare, colective care participă la asigurarea calității încercărilor produselor destinate Centralelor nuclearoelectrice.

În acest mod se creează condiții optime ca, în orice moment, indiferent de natura produsului ce urmează a fi încercat, sistemul organizatoric să permită executarea unor lucrări corespunzătoare categoriei căreia îi aparține produsul din punct de vedere al calității.

Produsele furnizate de către beneficiar, în vederea calificării, sînt supuse mai multor seturi de încercări :

— încercări de tip normale pentru uz general ;
— încercări de tip normale pentru CNE ;
— încercări de tip EBP (evenimente de bază pentru proiectare) ;
— încercări specifice — în funcție de tipul de produs.

Alături de cadrul organizatoric, calitatea încercărilor produselor destinate centralelor nuclearoelectrice depinde și de baza materială cu care este dotat cel ce execută încercarea.

Actualmente nu există în țară instalații necesare calificării produselor la radiații, la seism și la accidentul de pierdere a agentului de răcire (încercări de tip normale pentru CNE și încercări de tip EBP).

Pentru asigurarea condițiilor realizării încercărilor necesare, ICPE are în curs realizarea unei investiții prevăzută cu bază materială corespunzătoare asigurării unor încercări de calitate a produselor destinate centralelor nuclearo-electrice, încercări ce sînt în concordanță cu standardele americane IEEE și ANSI, cerute de tipul de centrale CANDU.

Pînă la finalizarea acestei investiții, se efectuează încercări la seism în limitele performanțelor platformelor existente în țară și calificării la radiații în colaborare cu IRNE—Pitești. Încercările se execută conform MAC cod AC.01., acordîndu-se o atenție deosebită calității încercărilor, și respectîndu-se întocmai programele de încercare și prevederile manualului de asigurare a calității.

Filozofia de încercare, care asigură omologarea corectă a produsului, și a necesitat lucrări de cercetare cu un volum important de muncă, a fost elaborată în cadrul ICPE. Ea cuprinde metodologii de îmbătrînire termică accelerată și îmbătrînire la radiații ; metodologia de încercare la seism tip OBE și SSE ; metodologia de calificare a cablurilor etc.

Activitatea începută recent la noi în țară în acest nou domeniu, în care alte laboratoare au experiență de minimum 15 ani, neprecizarea în literatura de specialitate a detaliilor de conducere a încercărilor efectuate de laboratoarele de specialitate din străinătate, profilate pe acest domeniu și nici de firmele producătoare de echipamente calificate, obligă, ca tot timpul să existe o atenție deosebită pentru găsirea unor soluții noi, pentru o calitate crescîndă a calității încercărilor produselor destinate CNE.

Toate aceste preocupări au legat Institutul de cercetări pentru electrotehnică de problemele stringente ale asimilării de produse noi și modernizate, au situat pe cercetători alături de oamenii muncii din industrie în preocuparea de căpetenie, aceea a ridicării calității produselor românești. Aceste preocupări se vor intensifica în continuare, contribuind în modul cel mai direct la realizarea marilor sarcini trasate de conducerea de partid, privind ridicarea nivelului tehnic și calitativ al produselor românești la o cotă superioară pe plan mondial.

CZ 621.3 :338.91

ELECTRONIZARE
ELECTROTEHNICĂ

Electronizarea electrotehnicii

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, IOAN BOCONCIOS, ANA MARIA MOISIN, CRISTIAN POPESCU

Introducere

Electronizarea electrotehnicii! La prima vedere această aserțiune pare o tautologie, căci, tradițional, electronica este un capitol al electrotehnicii generale. Practic însă, electronica a devenit sinonimă cu generarea, prelucrarea și transmiterea semnalelor electrice, cu un transfer minim de putere implicată (reducerea puterii implicate fiind unul din scopurile sale principale). Aceasta spre deosebire de electrotehnică, care și-a rezervat domeniul clasic al acțiunilor de putere (producere de lucru mecanic cu ajutorul electricității).

În ultima decadă însă, are loc un fenomen de apropiere din ambele părți a celor două direcții ce păreau divergente: apariția electronicii de putere (dispozitive semiconductoare capabile să suporte mii de amperi sau volți) și însușirea metodelor și mijloacelor electronice de către electrotehnică.

Acest fenomen, privit din punct de vedere electrotehnic, înseamnă deschiderea de noi perspective de calitate ridicată, eficiente economic, deci un factor de progres pentru o disciplină consacrată. Descrierea acestor mutații de opinii, metode și mijloace, poate îmbrăca aspecte foarte diferite și de mare amploare, care urmărite exhaustiv ar putea constitui subiectul unei monografii științifice, depășind cu mult cadrul unui articol. Din acest motiv prezentarea de față va urmări aspectele considerate de autori ca reprezentative etapei actuale în contextul mondial și mai ales al țării noastre.

În acest sens se va considera impactul electronicii în diferitele activități mai des întîlnite în electrotehnică. Abordarea unei noi probleme electrotehnice se bazează pe o desfășurare de genul celei din figura 1.

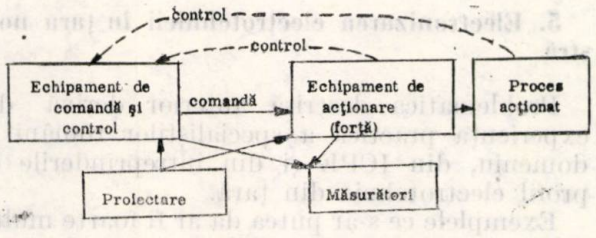


Fig. 1

Proiectarea conduce la elaborarea echipamentului de comandă/control și a celui de acționare (forță), între care există procesele interactive de control activ, figurate punctat. Prin măsurători se verifică corectitudinea de proiectare și funcționare, iar, dacă este necesar, se revine asupra proiectării, pentru îmbunătățiri.

Procesul acționat poate fi simulat sau real în funcție de complexitatea sau mărimea sa.

1. Electronica în concepția — proiectarea electrotehnică

Electronica în concepție — proiectare este sinonimă cu ingineria asistată de calculator. Această asistență îmbracă o mare varietate de forme, de la folosirea de rutină a calculatorului de buzunar, pînă la proiectarea complexă în regim conversațional cu calculatoare de mare capacitate, la optimizarea tehnico-economică a produselor existente, la realizarea de bănci de date pentru subansamble și produse tipizate. Dintre elementele specifice ale tehnicii de calcul utilizate se consideră, de la caz la caz, tipul de calculator, perifericele și interfețele, sistemele grafice și de prelucrare a imaginilor, pachetele de programe, deci, pe scurt, hardware și software specifice.

Problemele electrotehnice rezolvabile astfel se înscriu într-o mare varietate, plecînd de la calculul cîmpurilor electromagnetice la analiza și proiectarea complexă geometrică tridimensională a structurilor mecanice de suport. Menționăm în special considerarea proceselor automate, a mărimilor cu comandă-program în viitorul proces de fabricație al produselor electrotehnice respective.

2. Electronica și echipamentele de comandă și control

Echipamentele de comandă și control constituie domeniul în care electronica aduce un aport considerabil electrotehnicii.

În momentul de față principalele tendințe în acest domeniu sînt:

— introducerea microprocesoarelor pe scară largă;

— utilizarea noilor tipuri de dispozitive semiconductoare de performanțe ridicate;

— introducerea noilor generații de senzori și traductoare.

Introducerea microprocesoarelor reprezintă și în electrotehnică, ca și în toate domeniile activității umane, prima etapă a noii revoluții industriale. Gama virtuală de utilizări a microprocesoarelor este foarte largă, dar introducerea lor în faza actuală trebuie făcută cu discernămînt, astfel de la caz la caz este convenabilă fie utilizarea unei scheme electrice (logică cablată),

fie utilizarea unor programe (logică programată), pentru o anumită operație de comandă sau control.

Noile dispozitive semiconductoare apărute, circuite integrate LSI sau VLSI, circuite hibride cu straturi groase sau subțiri, reprezintă o alternativă sau o completare a microprocesoarelor în utilizări legate de procesele de comandă și control.

Un aspect cu totul particular al utilizării microprocesorului este cel al schimbului continuu de informații, al transferului de date între unitatea de comandă și echipamentele comandate, asigurînd astfel controlul permanent al stadiului efectuării comenzilor date și intervenția operativă de tip iterativ. Se regăsesc astfel principiile generale de organizare și control în timp real, cibernetica, analizate aprofundat teoretic de către electronică.

Aceasta a condus la apariția unor noi generații de senzori și traductoare, în cele mai multe cazuri de tip „solid state" cu performanțe foarte ridicate privind precizia, stabilitatea și fiabilitatea, viteza mare de răspuns. Aceste tipuri noi permit urmărirea complexă în timp real, practic, a tuturor mărimilor fizice : deplasări, poziții, deformări, vibrații, temperaturi, presiuni, umidități, schimbări de aspect sau structură. Este clar că luarea în considerație a unui număr foarte mare de parametri nu este posibilă și nu are sens decît în condițiile utilizării mijloacelor moderne de analiză și prelucrare rapidă a unui volum mare de date.

3. Electronica și echipamentele de acționare

Acționările electrotehnice acoperă un domeniu de puteri extrem de larg, de la waţi (micromotoare) la megawaţi (industria cimentului, platforme de foraj marin etc.), ceea ce face imposibilă rezolvarea problemelor într-un mod unitar.

De la caz la caz, aportul electronicii constă în punerea la dispoziția electrotehnicii a dispozitivelor specializate, actuale, de mare performanță sau cu caracteristici noi : în tehnologie hibridă (pentru puteri mici), triace, tiristoare și dispozitive de comutație (pentru puteri medii și mari).

De multe ori se recurge la scheme de acționare în lanț, în care se consideră amplificări intermediare de putere, ce beneficiază fiecare de dispozitive specializate subdomeniului respectiv.

4. Electronica în măsurători

La prima vedere utilizarea electronicii în procesul de măsurare și caracterizare este banală — aparatură electronică uzuală, voltmetre digitale, osciloscoape, înregistratoare etc., este folosită pe larg și de multă vreme în electrotehnică. În realitate, apariția calculatoarelor și microprocesoarelor este pe cale să revoluționeze mijloacele și procedeele de măsură tradiționale. Această revoluție are loc pe două căi : apariția aparatelor de măsură „inteligente" și a aparatelor de măsură „de sistem".

În primul caz înzestrarea unui aparat de măsură cu un microprocesor permite ca acesta să efectueze singur tot ciclul de măsurători pentru care a fost programat, cu urmărirea timpului, prelucrarea matematică primară a datelor măsurate (inclusiv statistic) și stocarea rezultatelor pentru regăsire ulterioară.

Astfel au apărut voltmetrele digitale cu rezoluție 100 nV și precizie mai bună de $\pm$ 0,001 %, capabile să efectueze pînă la 3000 citiri/secundă, ce pot să prelucreze statistic datele și să le memoreze intern.

În al doilea caz, au apărut sistemele complexe de achiziție și prelucrare a datelor ce leagă instrumentele, un calculator (de birou) și perifericele într-un sistem automat de măsură.

Acest concept revoluționar se bazează pe standardul mondial de interfață IEEE 488—1973, (sau IEC 625-1) ce impune un mod conversațional și de organizare comun, iar utilizarea sa permite atingerea unor precizii și viteze de lucru de neimaginat cu mijloacele clasice, manuale. Fiecare echipament participant la sistem este capabil cel puțin să transmită datele măsurate (talher), sau să recepționeze date (receiver), sau să controleze operarea (controller).

Configurația minimă constă dintr-un talher (de ex. voltmetrul) și un receiver (de ex. imprimantă), dar cazul uzual este cel în care aparatele posedă ambele funcții și sînt organizate în jurul unui calculator (controller). Se realizează astăzi în lume mii de aparate de sistem perfect compatibile între ele, ce pot măsura practic orice, producînd direct interpretarea datelor, curbele trasate etc.

O mențiune specială se cuvine sistemelor dedicate, utile mai ales controlului de calitate, în care aparatele și software sînt specializate unor genuri de măsurători, ca de exemplu testarea componentelor, a circuitelor imprimate, analiza spectrală etc., fără a-și pierde totuși flexibilitatea de adaptare la alte necesități.

5. Electronizarea electrotehnicii în țara noastră

Problematica descrisă anterior derivă din experiența practică a specialiștilor români în domeniu, din ICPE și din întreprinderile de profil electrotehnic din țară.

Exemplele ce s-ar putea da ar fi foarte multe, dar anumite realizări pot ilustra mai reprezentativ tendințele prezentate.

Astfel, în domeniul concepției — proiectării se pot menționa programele de dimensionare a mașinilor electrice, programele pentru calculul cîmpurilor electrice, magnetice și termice, pentru dimensionarea și testarea automată a cen-

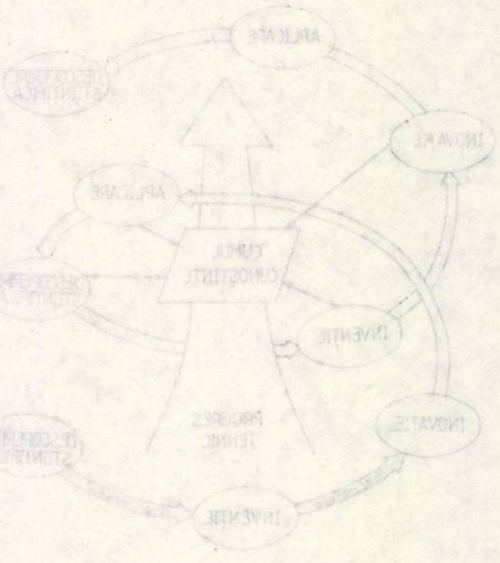
tralelor telefonice, izolatoare, transformatoare, surse noi de energie.

În domeniul echipamentului de comandă și control exemplele ar putea fi foarte numeroase, de pildă comutatorul-program cu 20 de canale destinat comandării la momente de timp prestabilite a proceselor de comutație (concepție ICPE). De asemenea, dispozivele de comandă pe grilă CMOS pentru echipamentele de foraj petrolier (realizare ICPE). Tehnologia hibridă a condus la realizarea servoamplificatorului de putere SHP 3 015, primul circuit hibrid de putere românesc (realizare ICPE), ce va fi urmat de o largă familie de dispozitive dedicate. În aceeași ordine de idei se poate menționa structura βU 1 000 (UNICIP) realizată de IPRS, ce permite obținerea schemelor integrate proprii adaptate aplicațiilor. Numărul aplicațiilor în care este utilizat microprocesorul (8080 sau mai nou Z 80) este de asemenea în continuă creștere.

Dintre traductoarele și senzorii de nivel mondial se pot remarca traductoarele inductive de poziție tip Inductosin, familiile de senzori de proximitate, temperatură, radiație, nivel, presiune, forță (asimilați sau în curs de asimilare în ICPE), comutatorul cu senzor de proximitate TCA 105N, senzorul magnetic comutator βSM2XX (IPRS) și altele.

Aplicațiile de putere de mare semnificație pentru economia națională sînt numeroase: echipamentele de foraj terestru, cu alimentare de la rețea sau microcentrală proprie, cele de foraj marin, echipamentele de execuție statică pentru turbo și hidrogeneratoare, convertizoare statice de frecvență de acționare și încălzire pentru trenuri, tiristorizarea locomotivei de 5 100 kW, cicloconvertoarele pentru alimentarea motoarelor sincrone lente (2MUA) pentru mori de ciment și multe altele (concepție — realizare ICPE).

În concluzie, se poate aprecia că simbioza electrotehnică — electronică reprezintă un factor activ, de progres, pentru ambele discipline, ce contribuie la realizări semnificative, de nivel mondial în electrotehnica românească modernă.



CZ 621.3 :338.91

INVENȚII
INOVAȚII

Invenția brevetabilă în activitatea ICPE

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, ANA MARIA MOISIN, LUCIAN MARINETE, GABRIEL OBLEMENCO, PETRE SIMIONESCU, MARILENA POPESCU, NICOLAE NEGOIȚĂ

1. Aspectele generale ale problemei

Progresul tehnico-științific impune o „gîndire mai îndrăzneață, mai revoluționară în știință", așa cum a subliniat cu numeroase ocazii secretarul general al partidului tovarășul Nicolae Ceaușescu, fiindcă numai așa este posibilă stăpînirea și folosirea uriașelor descoperiri care au loc în lume. Gîndirea îndrăzneață și creatoare presupune o activitate novatoare permanentă, care să se dezvolte continuu, impusă de necesitățile progresului societății noastre socialiste și al științei și tehnicii în general, corelată strîns cu resursele materiale și umane de care se dispune.

Activitatea novatoare este generatoare de soluții originale și se materializează pe trei planuri, aparent diferite, reprezentînd, de fapt, manifestări de nivele diferite ale gîndirii creator-revoluționare în știință și tehnică și constituind faze ale unui proces continuu de creație și anume : descoperirea științifică, invenția și inovația, care se întrepătrund, se determină și se generează reciproc în procesul de aplicare facilitînd progresul permanent al tehnicii (fig. 1).

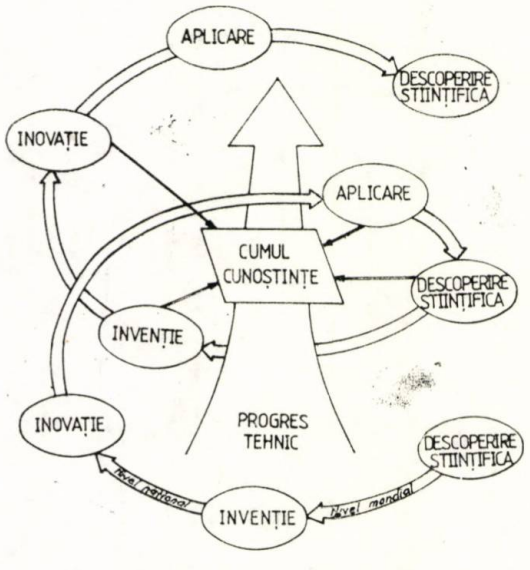


Fig. 1. Fazele procesului de creație tehnico-științifică.

Descoperirea rezultă din cercetarea fundamentală și reprezintă stabilirea unor legi, proprietăți sau fenomene din lumea materială, existente în mod obiectiv, dar necunoscute încă, în timp ce invenția și inovația reprezintă soluții tehnice concrete, ce dau valoare practică descoperirilor.

Invențiile și inovațiile, ca rezultate ale activității creatoare în știință și tehnică și principale obiecte de proprietate industrială sînt astăzi unanim recunoscute ca fiind elemente determinante ale progresului, dacă sînt strîns legate de necesitățile economice ale țării, pentru a putea constitui o adevărată industrie de cunoștințe[1]. Invențiile, ca soluții tehnice caracterizate prin noutate pe plan mondial, rezultă, de regulă, din activitatea de cercetare, indiferent de locul în care se desfășoară aceasta (institut specializat, învățămînt sau întreprindere), iar inovațiile, care au noutate la nivel național, rezultă, de obicei, din activitatea de producție industrială.

Ținînd seama de caracterul acestor categorii de realizări, care caracterizează procesul continuu de creație, devine interesant de determinat măsura în care cercetările finalizate în activitatea de cercetare desfășurată în ICPE, în timp, s-au concretizat în invenții brevetabile, aceasta deoarece :

— invenția brevetabilă, ca soluție tehnică prezentînd noutate și progres tehnic în raport cu stadiul mondial al tehnicii, reprezintă actul de maximă originalitate în cercetarea științifică și ingineria tehnologică ;

— cercetarea științifică și ingineria tehnologică trebuie, în mod normal și logic, să constituie principala sursă de invenții brevetabile, adică, să genereze curent soluții tehnice originale, cu nivel de invenție brevetabilă ;

— invenția brevetabilă constituie un criteriu obiectiv de apreciere a originalității nivelului tehnic și eficacității activității de cercetare științifică și inginerie tehnologică ;

— invențiile brevetabile trebuie să se dezvolte cantitativ și calitativ, concomitent cu creșterea gradului de înzestrare umană și materială a unității de cercetare ;

— brevetul de invenție asigură protecția soluțiilor tehnice originale, rezultate din activitatea de cercetare științifică și inginerie tehnologică, transformîndu-le în marfă vandabilă, încă din faza de documentație tehnică — obiectul cel mai de preț al tranzacțiilor comerciale.

---

[1] K. Kabayaschi-președinte al firmei „Nippon Electric Company" — Simpozionul organizat de Academia Națională de Inginerie din SUA (24.04.1964).

Implementarea activității de proprietate industrială și, în speță, a celei de brevete de invenții în cercetarea științifică și ingineria tehnologică a fost considerată, în cadrul ICPE, de la început, un proces firesc și continuu, cu caracter permanent, pornindu-se de la ideea că aceste două activități, respectiv cea de brevete și cea de cercetare științifică și inginerie tehnologică, se împletesc organic, cu rezultate dintre cele mai favorabile pentru generarea și punerea în valoare a unor rezultate tehnice originale.

Într-adevăr, pornind de la faza inițială a cercetării, brevetele de invenții, constituie cea mai bogată, mai completă și mai actuală sursă de informare și documentare, care permite abordarea problemei din planul de cercetare, pornind de la nivelul atins de tehnica mondială în domeniul dat. Dacă în trecut rolul preponderent în documentarea colectivelor de specialiști îl constituia literatura clasică (cărți și reviste), astăzi, în condițiile ritmului în care se dezvoltă industria și al decalajului în timp care există între momentul în care apare o nouă soluție tehnică și acela în care este publicată, brevetele de invenții reprezintă sursa potențială și cea mai proaspătă, din care se pot extrage soluții de cea mai mare valoare, în măsură să asigure evitarea cercetării unor probleme rezolvate sau găsirea, la problemele cercetate, a unor soluții originale brevetabile[2]. În plus, consultarea prealabilă a soluțiilor tehnice brevetate anterior permite realizarea unor soluții tehnice proprii, nu numai brevetabile, ci și pure din punct de vedere al drepturilor, decurgînd din brevetele anterioare, cu largă posibilitate de valorificare prin export de produse sau documentații.

În faza de elaborare și conturare a soluțiilor tehnice pentru problema cercetată, împletirea celor două activități se manifestă prin punerea sub protecție a unor brevete de invenție a fiecăreia din soluțiile tehnice elaborate. Acest lucru este deosebit de important, atît din punct de vedere al posibilităților de valorificare, cît și din punct de vedere strategic în înfruntarea concurenței posibile, în special pe piețele străine.

Firmele cu experiență, plecînd de la ideea că, fără protecție invenția nu poate avea un rol economic decisiv, atunci cînd angajază sume importante în programe de cercetare, întreprind toate măsurile necesare pentru înlăturarea posibilităților ca întreprinderi concurente să poată profita, în mod gratuit, de rezultatele acestor cercetări, mai ales, atunci cînd rezultatele la care s-a ajuns sînt deosebit de eficiente. Măsurile întreprinse se referă, în primul rînd, la brevetarea tuturor rezultatelor obținute, inclusiv a celor despre care se știe că nu vor fi aplicate. În acest fel se ajunge la protecția rezultatelor obținute printr-un „pachet" de brevete. Studiind pachetul de brevete obținute pentru realizări, în care există o multitudine de variante deosebite, concurentului îi va fi practic imposibil să determine rezultatul veritabil, cel optim, cu maximum de eficiență[3].

Pentru atingerea unui astfel de țel, toate unitățile economice și, în special, institutele de cercetare științifică și inginerie tehnologică, ar trebui să aplice o adevărată politică de proprietate industrială, elementul esențial al unei astfel de politici constînd în aceea că trebuie protejate toate soluțiile tehnice originale realizate, indiferent de obiectul lor (produse, tehnologii, aplicații noi ale unor mijloace cunoscute, combinații noi etc.).

În faza de aplicare industrială, în mod normal, toate soluțiile tehnice originale rezultate din activitatea de cercetare științifică și inginerie tehnologică, sau din activitatea de cercetare și proiectare uzinală trebuie să fie înregistrate ca propuneri de invenții cu cereri de brevete, sau să se afle sub protecția unor brevete deja acordate, în țară, precum și în alte state, în funcție de posibilitățile reale de valorificare pe piețe străine. În această fază împletirea celor două activități se manifestă prin valorificarea cît mai larg posibilă în economia națională și la export a produselor sau tehnologiilor protejate prin brevete, prin adoptarea tuturor măsurilor necesare pentru menținerea brevetelor în vigoare.

Prin urmare, activitatea de proprietate industrială, prin componentele sale — informarea și documentarea din brevete, procesul de identificare a soluțiilor tehnice originale, de protecție a acestora prin brevete de invenții în țară și străinătate, de valorificare eficientă sub protecția brevetelor și, în final, de recompensare materială — precede, însoțește și continuă fazele de cercetare științifică și inginerie tehnologică, creînd posibilități pentru desfășurarea cercetării în condiții mai eficiente, cu cheltuieli materiale mai reduse și cu rezultate la nivelul realizărilor similare pe plan mondial sau, de multe ori, cu depășirea stadiului existent al tehnicii mondiale, elaborările fiind la nivel de invenții brevetabile.

Continuarea procesului de cercetare de către activitatea de proprietate industrială se manifestă, de asemenea, prin :

— îmbinarea, în procesul de valorificare a soluțiilor tehnice originale brevetate, a protecției suplimentare a acestora și prin mărci de fabrică adecvate, cu influențe deosebit de favorabile asupra produselor protejate.

---

[2] Dr. ing. Florin Teodor Tănăsescu „Brevetele de invenție în cercetările ICPE din domeniul circuitelor și metodelor de măsură", Lucrările ICPE, nr. 20 bis, 1969.

[3] Bernard Kapp „Le brevet, arme offensive, défensive et de dissuasion", Science et Vie, nr. 132 — sept. 1980.

— În activitatea ICPE acest sistem de protecţie se practică curent prin asigurarea protecţiei prin brevete de invenţii complementare, sau după caz independente, a tuturor perfecţionărilor originale aduse pe parcurs unui produs sau unei tehnologii deja brevetate. În acest fel, invenţiei de bază, respectiv produsului iniţial, împreună cu toate perfecţionările ulterioare ei, i se asigură o protecţie deosebit de solidă şi o valorificare superioară.

Este situaţia spre care trebuie să se tindă, pentru a asigura recuperarea totală a investiţiilor umane şi materiale, ce se fac în activitatea de cercetare.

Cunoaşterea acestei realităţi a permis Institutului de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru electrotehnică — ICPE — să asigure, în timp, o implementare tot mai solidă a activităţii de proprietate industrială în procesul de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică şi să obţină, an de an, ca şi în munca de cercetare, rezultate remarcabile, situîndu-l, şi din acest punct de vedere, pe un loc fruntaş între institutele de cercetare din MIE. Este edificator, sub acest aspect, faptul că în ultimii 6 ani, ICPE s-a situat pe primul loc în concursul de invenţii şi inovaţii organizat de minister şi de Uniunea sindicatelor din metalurgie şi construcţia de maşini, iar în ultimii doi ani a ocupat, în acest domeniu, primul loc şi la nivelul capitalei.

2. Etape în dezvoltarea activităţii de invenţii în ICPE

2.1. Perioada anilor 1950—1964

Este etapa care începe cu anul de înfiinţare a institutului, caracterizată, la începutul ei, prin numeroase şi frecvente transformări organizatorice, care nu puteau să nu influenţeze şi activitatea de invenţii şi inovaţii, atît ca organizare, cît şi ca eficienţă. Anul 1964 marchează trecerea institutului sub denumirea de ICPE, în cadrul Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini (MICM), cu un profil care începea să se contureze tot mai clar — baza profilului actual, legat strîns de necesităţile industriei în continuă dezvoltare şi a economiei naţionale, în general.

Primele cereri de brevete de invenţii ale specialiştilor din ICPE încep să apară în anul 1955, reflectînd anumite acumulări calitative în munca de cercetare. Invenţiile din această perioadă, deşi abordează o mare varietate de probleme, toate cu profunde implicaţii în economie, sînt încă puţine din punct de vedere cantitativ. Evoluţia anuală a numărului de cereri de brevete în perioada 1950—1964 este redată în figura 2.

Se poate constata variaţia foarte mare, de la an la an, deşi, în nici unul din aceşti ani, numărul cererilor de brevete nu a depăşit cifra 10, atinsă doar în anul 1957. De asemenea, se constată scăderea numărului de propuneri de invenţii spre sfîrşitul perioadei, legată cu siguranţă şi de unele noi modificări organizatorice. Cu toate acestea începutul marcat atunci avea să reprezinte o serioasă bază de plecare pentru dezvoltarea acestei activităţi în viitor, odată cu creşterea numărului de specialişti şi a dotării materiale. De altfel, în relaţia cercetare-invenţii există o legătură strînsă între potenţialul uman şi material al activităţii de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică şi între potenţialul de creaţie ştiinţifică şi tehnică exprimat în invenţii brevetabile[4].

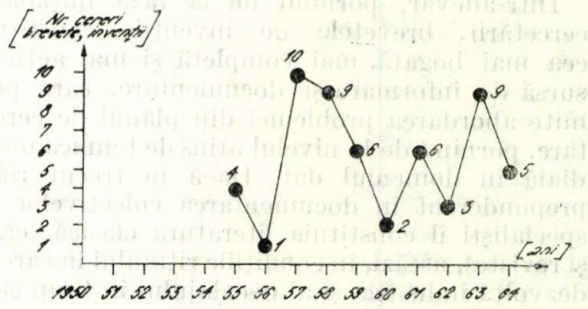


Fig. 2. Evoluţia anuală a numărului de cereri de brevete în perioada 1950—1964.

Tematica abordată este variată, dar ceea ce este şi mai important, ea este puternic grefată pe necesităţile perioadei şi ale dezvoltării în perspectivă. Cîteva teme abordate şi rezolvate prin soluţii tehnice brevetabile în această perioadă sînt edificatoare :

— maşini electrice, inclusiv micromaşini şi transformatoare ;
— sisteme de protecţie a maşinilor electrice ;
— sisteme şi echipamente de comandă şi reglare automată pentru acţionarea diesel-electrică ;
— aparataj electric de înaltă şi joasă tensiune ;
— protecţia reţelelor trifazate de înaltă tensiune ;
— maşini de echilibrare dinamică a rotoarelor ;
— produse electrocasnice ;
— procedee de modelare magnetică ;
— metode şi standuri de încercare etc.

Dintre invenţiile brevetate în această perioadă se prezintă, mai jos, două exemple :

Dispozitiv de stabilizare pentru sisteme automate de putere cu amplificatoare magnetice sau rotative (Brevet RSR nr. 42.997, autor ing. Dorel Damsker).

Invenţia (fig. 3) se referă la un dispozitiv de stabilizare pentru sisteme automate de putere, cu amplificatoare magnetice sau rotative, ce utilizează un transformator de stabilizare, montat ca element serie în cascada constituită din preamplificator şi amplificatorul de putere, care, pe lîngă funcţia de stabilizare, poate să reali-

4) vezi şi L. Marinete, „Consideraţii cu privire la relaţia cercetare-invenţii", revista „Invenţii şi inovaţii", nr. 9/1971.

zeze și funcția de a împiedica circulația armonicelor de curent între preamplificator și amplificatorul de putere.

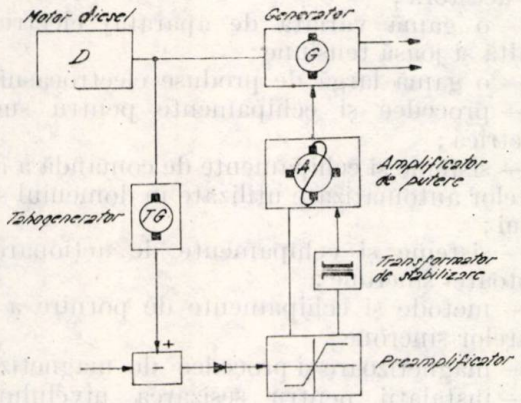


Fig. 3. Dispozitiv de stabilizare pentru sisteme automate de putere.

Avantajul principal al invenției îl constituie faptul că asigură amortizarea oscilațiilor, fără consum de energie, în regimuri staționare, de asemenea, împiedică circulația armonicelor între preamplificator și amplificatorul de putere, eliminînd, astfel, montarea unei bobine de reactanță specială.

Eclator multiplu pentru descărcătoare cu rezistență variabilă (Brevet RSR 43484, autor ing. Silviu Donici).

Invenția (fig. 4) se referă la un eclator multiplu, pentru descărcătoare cu rezistență variabilă, care, în scopul realizării unei stingeri mai bune a arcului curentului de însoțire, utilizează mai multe eclatoare unitare dimensionate pentru tensiunea nominală și înseriat astfel,

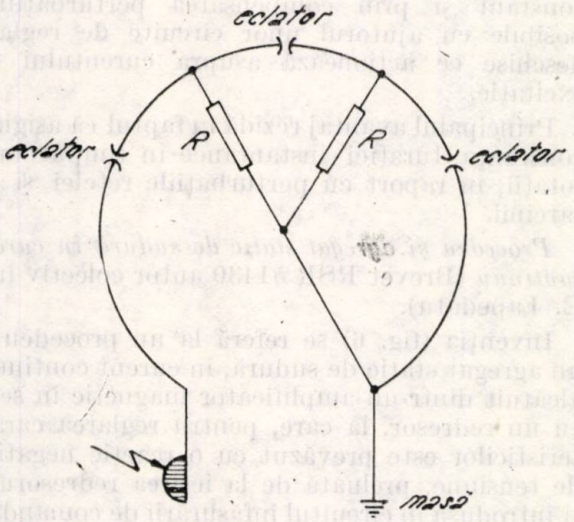


Fig. 4. Eclator multiplu pentru descărcătoare cu rezistență variabilă.

încît să formeze o buclă între unul dintre capetele eclatorului multiplu și conexiunile de înseriere ale eclatoarelor unitare. Sînt prevăzute, de asemenea, niște rezistențe care să permită aprinderea eclatoarelor la aceeași tensiune de amorsare.

Unul din avantajele de bază rezidă în faptul că favorizează, atît amorsarea, cît și stingerea arcului curentului de însoțire, iar, prin secționarea arcului condițiile de stingere sînt îmbunătățite.

Aceste invenții s-au dovedit deosebit de eficiente în exploatare.

2.2. Perioada anilor 1965—1976

Este perioada la începutul căreia se continuă procesul de desprindere a unor secții din ICPE în unități de sine stătătoare (mai întîi transformarea secției de cercetări electronice în institut independent și, apoi, secția de proiectare uzine urmează aceeași cale, devenind „Electrouzinproiect"). Era un fenomen normal în concordanță cu necesitățile dezvoltării economiei naționale, dar, care s-a reflectat, în ICPE, printr-o scădere temporară a numărului de cereri de brevete. În scurt timp, însă, activitatea de invenții începe să se dezvolte, iar numărul cererilor de brevete de invenții să crească. Evoluția anuală a numărului de cereri de brevete în această perioadă este redată în figura 5.

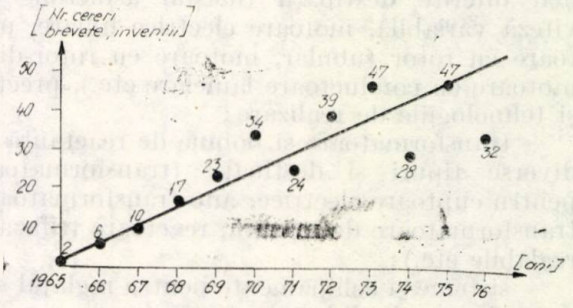


Fig. 5. Evoluția anuală a numărului de cereri de brevete în perioada 1965—1976.

Perioada are un început modest, pentru ca apoi, numai în decurs de doi ani, să atingă maximum perioadei 1950—1964, iar în următorii ani, să depășească de două, trei, patru și chiar, aproape, de cinci ori această cifră (anii 1973 și 1975). Deși, dinamica activității de invenții din această perioadă, manifestă o tendință clară de creștere, ea continuă să aibă, succesiv, maxime și minime.

Rezultatele bune obținute în această etapă, mult superioare perioadei anterioare, se explică în primul rînd, prin măsurile întreprinse după Congresul al IX-lea al partidului, de dezvoltare a economiei naționale pe baza celor mai noi și mai eficiente realizări ale științei și tehnicii și de organizare și dezvoltare în ritm cu cerințele economiei naționale a cercetării științifice proprii. De asemenea, trebuie menționată organizarea adecvată a acestei activități, precum și numirea, în calitate de responsabili, a unor spe-

cialiști (ing. Vadim Șubovici, prof. Alexandru Nicolau), cu pregătire profesională deosebită și cu experiență corespunzătoare în acest domeniu, ei înșiși inventatori, profund convinși de necesitatea protecției prin brevete a soluțiilor tehnice originale, rezultate din activitatea de cercetare științifică, în vederea unei valorificări eficiente.

Trebuie remarcat că, activitatea și realizările din aceste două perioade de început (1956—1964 și 1965—1976) au reprezentat, pentru activitatea de invenții și inovații, o serioasă bază de dezvoltare în continuare, datorită acumulării unei importante experiențe practice, atît în domeniile organizatoric, cît și tehnic, economic și juridic ale activității de invenții și inovații și de proprietate industrială, în general.

Tematica abordată de invențiile realizate de ICPE, în perioada 1965—1976, lărgind, diversificînd și extinzînd cercetările anterioare, a fost, de asemenea, deosebit de variată, iar obiectivele acesteia au fost strîns legate de cerințele economiei naționale, ale perioadei și dezvoltării în perspectivă. Cităm, cu titlu de exemplu, cîteva din problemele rezolvate prin invenții brevetabile în această perioadă:

— o gamă variată de mașini electrice cu cele mai diferite destinații (mașini asincrone cu viteză variabilă, motoare electrice liniare, motoare cu rotor tubular, motoare cu rotor-disc, motoare cu conductoare lamelare etc.), precum și tehnologiile de realizare;

— transformatoare și bobine de reactanță de diverse tipuri și destinații (transformatoare pentru cuptoare electrice, autotransformatoare, transformatoare de măsură, reactoare trifazate, reglabile etc.);

— sisteme și echipamente pentru reglajul sub sarcină a tensiunii la transformatoare;

— tehnologii pentru realizarea de materiale electrotehnice conductoare și izolante;

— electrotehnologii cu utilizări în metalurgie, construcții și alte domenii industriale;

— tehnologii electrochimice cu destinație industrială;

— tehnologii de realizare de conductoare și cabluri electrice din aliaje de aluminiu;

— tehnologii de cositorire dublă a sîrmelor de cupru pentru componente electronice;

— metodă și echipament pentru comanda și reglarea cîmpului generatorului electric, în acționarea diesel-electrică;

— separatoare electromagnetice, cu diverse destinații;

— procedee și sisteme de optimizare a funcționării generatoarelor de impulsuri, ce alimentează mașini de prelucrat prin electroeroziune;

— acționarea electrică a vehiculelor;

— instalație universală pentru încercări la înaltă tensiune;

— sisteme și echipamente de comandă pentru invertoare trifazate cu tiristoare;

— pile de combustie metal-aer și componente ale acestora;

— o gamă variată de aparataj electric de înaltă și joasă tensiune;

— o gamă largă de produse electrocasnice;

— procedee și echipamente pentru sudura electrică;

— sisteme și echipamente de comandă a agregatelor automatizate utilizate în domeniul sportului;

— sisteme și echipamente de acționare cu motoare sincrone;

— metode și echipamente de pornire a motoarelor sincrone;

— magnetizoare și procedee de magnetizare;

— instalații pentru sesizarea nivelului de poluare a izolației la instalațiile electrice;

— metode și instalații pentru verificarea fiabilității mașinilor electrice;

— aparatură de măsură și control etc.

Dintre invențiile brevetate în această perioadă se prezintă, de asemenea, mai jos unele exemple:

Procedeu și instalație de acționare electrică cu motoare asincrone cu turație ajustabilă (*Brevet* RSR 51302, autor dr. ing. Șofan Eugen-Ladislau).

Invenția se referă la un procedeu și o instalație de acționare electrică cu motoare asincrone cu ajustare a turației la care, pentru obținerea constantei turației instantanee în regim stabilizat, în cursul fiecărei turații, se impune o valoare determinată a unghiului de sarcină al motorului, cu ajutorul unui circuit de reglare închis, acționînd asupra tensiunii de alimentare a indusului. Acest unghi se menține constant și prin compensarea perturbațiilor posibile cu ajutorul unor circuite de reglare deschise ce acționează asupra curentului de excitație.

Principalul avantaj rezidă în faptul că asigură constanța turației instantanee în timpul unei rotații, în raport cu perturbațiile rețelei și ale sarcinii.

Procedeu și agregat static de sudură în curent continuu (Brevet RSR 51430 autor colectiv ing. E. Lapedatu).

Invenția (fig. 6) se referă la un procedeu și un agregat static de sudură, în curent continuu, alcătuit dintr-un amplificator magnetic în serie cu un redresor, la care, pentru reglarea caracteristicilor este prevăzut cu o reacție negativă de tensiune, preluată de la ieșirea redresorului și introdusă în circuitul înfășurării de comandă a amplificatorului magnetic. Modificarea caracteristicii se obține prin variația simultană a tensiunii de comandă și a numărului de spire în înfășurarea de comandă, în timp ce valoarea curentului de sudură se stabilește prin variația unei rezistențe de comandă reglabile.

Un avantaj principal al invenției îl constitue faptul că variația caracteristicilor de sudare se realizează cu mijloace relativ simple.

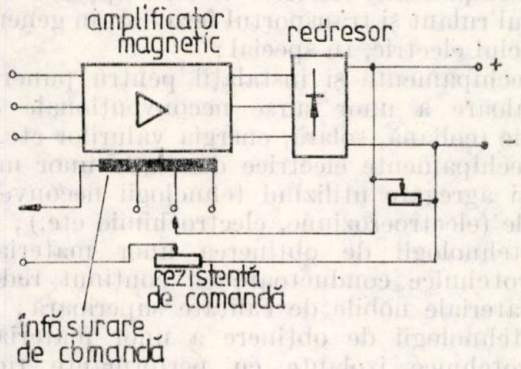


Fig. 6. Procedeu și agregat static de sudură în c.c.

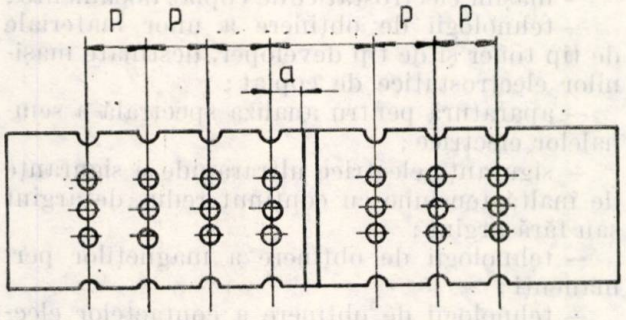


Fig. 7. Fuzibil pentru siguranțe electrice cu număr impar de secțiuni slăbite.

Fuzibil pentru siguranțe electrice (Brevet RSR 76457 autori dr. ing. Ion Barbu și Paul Uță).

Invenția (fig. 7) se referă la un fuzibil pentru siguranțe electrice ce comportă un număr impar de secțiuni slăbite. Materialul eutectic este plasat între secțiunea slăbită centrală și cea următoare la o distanță (a) de zona centrală, mai mică de 2/3 din distanța (p) dintre două zone cu secțiunea slăbită, poziție ce corespunde cu cea mai mare supratemperatură în regim nominal la curentul de nefuziune și de fuziune.

Avantajul de bază al invenției îl constituie caracteristica timp-curent rapidă, în special în porțiunea curenților mici de încercare, de asemenea, prezintă pierderi electrice mici.

Caracteristice pentru activitatea de invenții din ICPE, în această perioadă, sînt următoarele aspecte:

— creșterea numerică a propunerilor de invenții înregistrate, la sfîrșitul perioadei 1965—1976, ajungîndu-se la un număr anual de înregistrări de 4 ori mai mare decît maximum atins în perioada anterioară. Este interesant de arătat că numărul maxim anual de cereri de brevete de invenții, înregistrate de ICPE în această perioadă, este depășit în prezent, în afară de ICPE, doar de încă trei institute de cercetări (ICSIT-TITAN, ICECHIM și IPIU);

— creșterea valorii lor economice, datorită legăturii cu necesitățile economiei naționale la momentul dat și în perspectivă. Încă în 1973 eficiența economică generată exclusiv de invențiile ICPE aplicate a depășit cifra de un milion, iar în 1976 de circa trei milioane. Eficiența economică rezultată din aplicarea invențiilor ICPE în economie, însumată la sfîrșitul acestei perioade era de peste 95 milioane lei;

— creșterea experienței în organizarea activității și, odată cu aceasta a celei legate de problemele tehnice, economice și juridice ale acestei activități, care constituie o bază solidă pentru dezvoltarea continuă în viitor.

2.3. Perioada din 1977 pînă în prezent

Perioada care începe cu 1977 se caracterizează printr-o creștere continuă, cantitativă și calitativă a activității de invenții în ICPE. Dinamica dezvoltării nu cunoaște căderi în această etapă, realizările fiecărui an fiind superioare celor din anii precedenți. Evoluția anuală a numărului de propuneri de invenții înregistrate ste redată în figura 8.

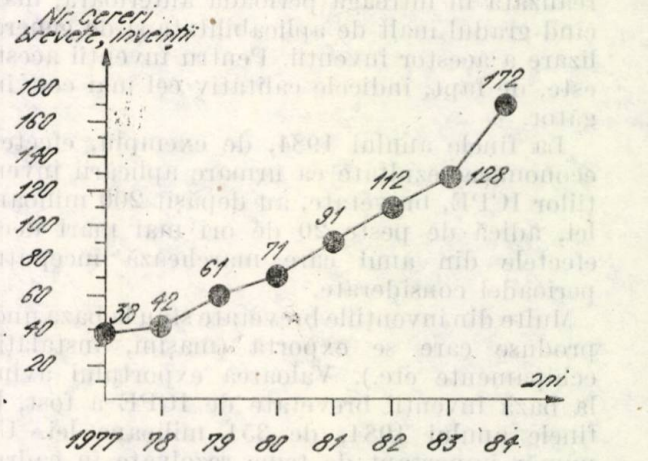


Fig. 8. Evoluția anuală a numărului de propuneri de invenții în perioada 1977—1985.

Se observă că de la începutul acestei perioade și pînă în prezent, din punct de vedere numeric, este o creștere continuă, numărul cererilor de brevete de invenții, fiind, în anul 1984 de 4,5 ori mai mare decît în anul 1977. Prin numărul de propuneri de invenții înregistrate, ICPE se situează, după datele statistice existente la OSIM, pe primul loc între institutele de cercetare din ramură și din țară, în general.

Creșterea calitativă a invențiilor ICPE, în perioada actuală, este dovedită de sporirea continuă a efectelor economice rezultate ca urmare a aplicării în economie a soluțiilor tehnice brevetate (fig. 9).

Se menționează că efectele economice reprezintă doar aproximativ 10% din valoarea producției realizate pe baza soluțiilor tehnice brevetate.

Se constată că valoarea efectelor economice rezultate ca urmare aplicării invenţiilor în economie, obţinute la sfîrşitul primului an din această perioadă, egalează, practic, valoarea

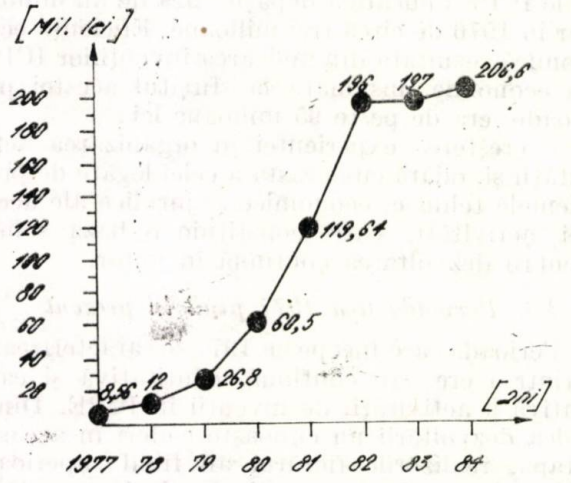


Fig. 9. Creşterea efectelor economice rezultate în urma aplicării în economie a soluţiilor tehnice brevetate.

realizată în întreaga perioadă anterioară, marcînd gradul înalt de aplicabilitate şi de generalizare a acestor invenţii. Pentru invenţii acesta este, de fapt, indicele calitativ cel mai convingător.

La finele anului 1984, de exemplu, efectele economice rezultate ca urmare aplicării invenţiilor ICPE, brevetate, au depăşit 200 milioane lei, adică de peste 20 de ori mai mari decît efectele din anul care marchează începutul perioadei considerate.

Multe din invenţiile brevetate stau la baza unor produse care se exportă (maşini, instalaţii, echipamente etc.). Valoarea exportului avînd la bază invenţii brevetate de ICPE a fost, la finele anului 1984, de 351 milioane lei. Un număr important de teme rezolvate în cadrul planului de cercetare au fost finalizate prin invenţii brevetate, ce atestă faptul că produsele fabricate pe baza lor depăşesc nivelul mondial al tehnicii în domeniul dat. De altfel, aşa se explică şi creşterea continuă a valorii produselor exportate.

Tematica abordată de invenţiile realizate în această din urmă perioadă este deosebit de variată şi de complexă. A fost extinsă şi diversificată aria preocupărilor anterioare, s-au adăugat domenii noi, în strînsă legătură cu necesităţile actuale şi de perspectivă ale economiei naţionale, în strictă conformitate cu sarcinile ce decurg pentru cercetarea electrotehnică din documentele de partid şi indicaţiile conducerii superioare de partid şi de stat. Cu titlu strict exemplificativ citäm cîteva din temele abordate în perioada din urmă şi rezolvate prin invenţii brevetate de mare eficienţă :

— maşini electrice destinate să funcţioneze în condiţii speciale ;

— echipamente pentru acţionarea mijloacelor electrice de transport urban (troleibuze, tramvaie, metrou) ;

— echipamente electrice destinate pentru materialul rulant şi transportul feroviar, în general şi a celui electric, în special ;

— echipamente şi instalaţii pentru punerea în valoare a unor surse neconvenţionale de energie (eoliană, solară, energia valurilor etc.) ;

— echipamente electrice destinate unor maşini şi agregate utilizînd tehnologii neconvenţionale (electroeroziune, electrochimie etc.) ;

— tehnologii de obţinerea unor materiale electrotehnice conductoare cu conţinut redus de materiale nobile de calitate superioară ;

— tehnologii de obţinere a unor materiale electrotehnice izolante cu performanţe ridicate ;

— maşini electrostatice de copiat documente ;

— tehnologii de obţinere a unor materiale de tip toner şi de tip developer, destinate maşinilor electrostatice de copiat ;

— aparatură pentru analiza spectrală a semnalelor electrice ;

— siguranţe electrice ultrarapide şi siguranţe de înaltă tensiune cu conţinut redus de argint sau fără argint ;

— tehnologii de obţinere a magneţilor permanenţi ;

— tehnologii de obţinere a contactelor electrice sinterizate ;

— tehnologii de obţinere de materiale ceramice electroizolante ;

— pulberi fluorescente pentru defectoscopie magnetică ;

— echipamente de acţionare electrică de mare putere (mori de ciment, foraj terestru, foraj marin etc.) ;

— neutralizatoare de sarcini electrostatice parazite ;

— surse electrochimice pentru diferite destinaţii cu eficienţă ridicată ;

— echipamente electrice pentru maşini automate de spălat ;

— echipamente electrice pentru comenzi numerice la maşinile unelte ;

— sonde ultrasonice pentru navigaţia fluvială şi de coastă ;

— o largă gamă de traductoare (inductive, capacitive, ultrasunete, piezoelectrice etc.) ;

— lămpi fluorescente miniaturizate ;

— echipamente şi instalaţii pentru supravegherea poluării în diverse medii ;

— sisteme logice de alarmare ;

— amestecuri anticorozive pentru protecţia pieselor metalice ;

— echipamente pentru comanda automată a bateriilor de condensatoare pentru îmbunătăţirea factorului de putere ;

— instalaţii şi echipamente pentru dispecer energetic, destinate marilor consumatori industriali ;

— standuri de încercări cu recuperarea energiei;

— dispozitive de pulverizare în cîmp electrostatic a pesticidelor și a altor materiale similare etc.

În continuare se prezintă cîteva din invențiile ICPE realizate în ultima perioadă, care s-au dovedit deosebit de eficiente în exploatare.

Procedeu de obținere a contactelor electrice sinterizate din argint-grafit (Brevet RSR 76848, autori: chim. Ștefania Maria-Covaliu, chim. Roman Pavel, ing. Vasile Ovidiu, Idzrail Băncilă, ing. Panait Drăguș).

Invenția se referă la un procedeu de obținere a contactelor electrice sinterizate din argint-grafit pentru întrerupătoare automate, prin amestecarea pulberii de argint cu pulbere de grafit, omogenizare cu adaos de ulei de transformator și presare în blocuri. În scopul obținerii unor produse cu calități superioare, omogenizarea amestecului se face cu adaos de 1 la 2% ulei de transformator, iar după concasare și sortare granulometrică, urmează o presare în dublu strat de lipire cu conținut de 70% Ag și 30% Ni la presiuni de 2,5 la 3,5 tf/cm² după care are loc sinterizarea la 880—890°C.

Procedeu de obținere a contactelor electrice sinterizate din argint-metal din subgrupa fierului (Brevet RSR nr. 76850, autori: chimist Ștefania Maria Gavriliu, chimist Pavel Roman, ing. Panait Drăguș).

Invenția se referă la un procedeu de obținere a contactelor electrice sinterizate din argint-metal, din subgrupa fierului, de preferință nichel, prin amestecarea pulberii de Ag cu pulbere din metalul respectiv, cu adaos de ulei de transformator, ca liant, urmată de granulare, concasare și sortare granulometrică.

În scopul obținerii unor caracteristici mecanice și electrice superioare, granularea amestecului prestabilit de pulberi și ulei de transformator se execută prin presare cu maximum 1,1 tf/cm² a fracțiunii sortate granulometric, după care urmează o presare în matrițe, la presiuni specifice de minimum 1 tf/cm² și sinterizarea comprimatelor la minimum 800 °C.

Prin aplicarea acestor invenții s-a obținut o eficiență economică de 2 600 000 lei pe an.

Frînă dinamoelectrică cu curenți turbionari (Brevet RSR nr. 77851, autori: ing. Victor Nițiguș, Marian Rădulescu, ing. Aurel Anuți).

Invenția (fig. 10) se referă la o frînă dinamoelectrică cu curenți turbionari cu inductor interior și indus cilindric exterior, la care cilindrul indus este prevăzut cu niște aripioare de ventilație, dispuse axial pe exteriorul său, și este plasat în exteriorul sistemului magnetic inductor.

Efectul combinat al unui ventilator, de care este fixat cilindrul indus, și al aripioarelor de ventilație asigură spălarea cu jet de aer a interiorului și a exteriorului cilindrului indus.

Avantajul principal rezidă în gabaritul redus datorită capacității sporite a evacuării căldurii în procesul de frînare.

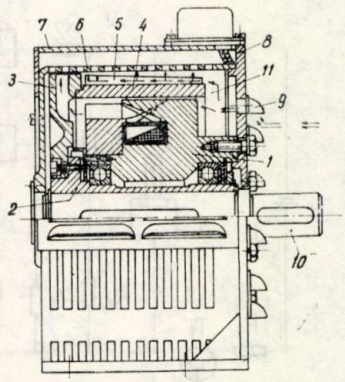


Fig. 10. Frînă dinamoelectrică cu curenți turbionari cu inductor interior și indus cilindric exterior.

Prin aplicarea invenției s-a obținut o eficiență economică de 2 200 000 lei pe an.

Metodă și instalație de reglare a interstițiului de lucru la instalațiile de prelucrare prin electroeroziune (Brevet RSR nr. 71979, autori: ing. Gheorghe Jitianu, ing. Ioan Surugiu).

Invenția (fig. 11) se referă la o metodă și instalație de reglare a interstițiului de lucru la instalațiile de prelucrare prin electroeroziune, la care, pentru definirea interstițiului de lucru, se stabilesc parametrii fiecărui impuls de tensiune aplicat între electrodul-sculă și electrodul de prelucrat și, anume, durata de amorsare a descărcării și valoarea tensiunii dintre electrozi în timpul impulsului de curent. Instalația memorează acești parametri de la o descărcare la alta și execută însumarea lor cu o anumită pondere, suma lor constituind valoarea ce trebuie menținută constantă în timpul procesului de prelucrare.

Metoda, conform invenției, asigură o stabilitate mare a interstițiului de lucru în toate regimurile de frecvență a descărcărilor și în toate regimurile de curent în timpul descărcării.

Prin aplicarea invenției s-a obținut o eficiență economică de 12 000 000 lei pe an.

Convertor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă (Brevet RSR nr. 66150, autori: ing. Romulus Zăroni, Dr. ing. Dan Micu, ing. Ion Crăcea).

Invenția (fig. 12) se referă la un convertor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă, care transformă energia electrică cu frecvență variabilă a unei surse primare în energie electrică, cu o frecvență impusă, în vederea alimentării unei sarcini și este destinat să alimenteze cu energie electrică circuitele de

încălzire electrică a vagoanelor, precum și pentru alimentarea unor instalații auxiliare, cum sînt echipamentele de încărcare a bateriilor de acumulatoare, motoarele de acționare a instalațiilor de climatizare etc.

printr-un circuit de comandă care realizează cuplarea sursei statice c.c. — c.a., la blocul electronic.

Prin aplicarea invenției s-a obținut o eficiență economică de 3 500 000 pe an.

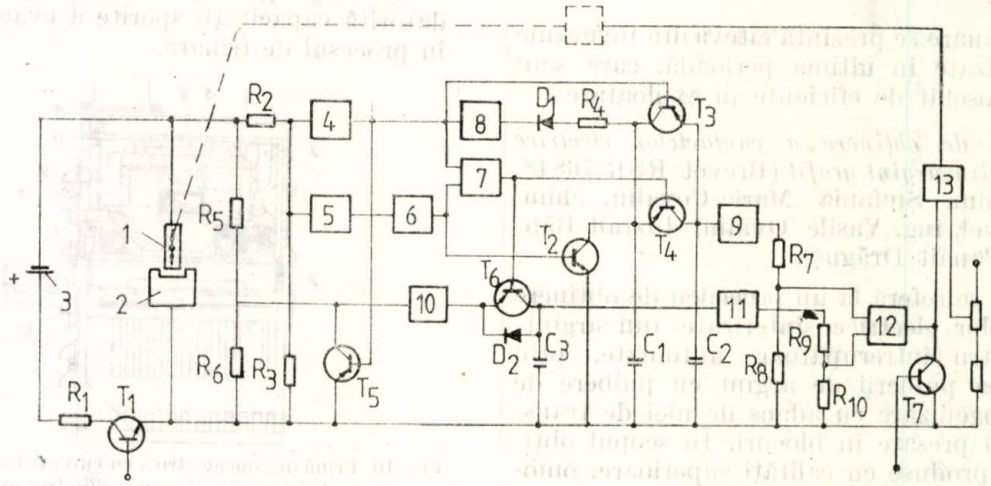


Fig. 11. Metodă și instalație de reglare a interstițiului de lucru la instalațiile de prelucrare prin electroeroziune.

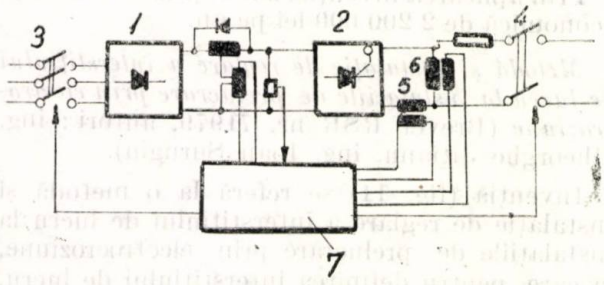


Fig. 12. Convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă : 1 — punte trifazată dublu alternantă ; 2 — invertor cu comutație forțată ; 3—întrerupător alimentare ; 4 — întrerupător de sarcină ; 5 — trafo curent de protecție ; 6 — trafo de tensiune ; 7 — bloc comandă automatizare.

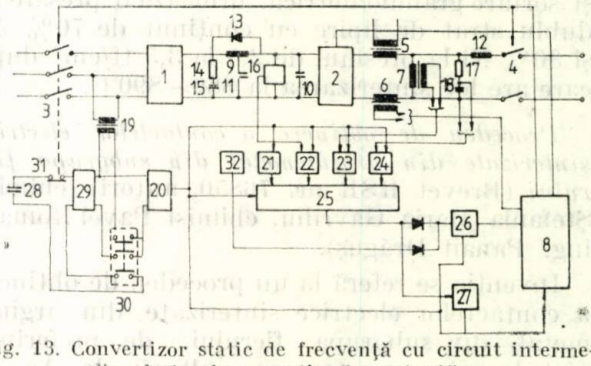


Fig. 13. Convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă constantă.

Avantajul principal al invenției rezidă în fiabilitatea ridicată în funcționare și asigurarea unor protecții adecvate.

Eficiența economică a acestei invenții și a invenției Brevet RSR nr. 66192, ce sînt aplicate împreună la instalații, se cifrează la 56 000 000 lei economii.

Convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă constantă și cu siguranță de funcționare mărită (Brevet RSR nr. 78243 autori : ing. Romulus Zăroni, Dr. ing. Constantin Dan Micu, ing. Ion Crăcea).

Invenția (fig. 13) se referă la un convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă, ce folosește o sursă statică de tip invertor curent continuu, curent alternativ, alimentată de la o baterie de acumulatoare, care, la o comandă de testare, alimentează blocurile electronice de comandă-protecție și semnalizare,

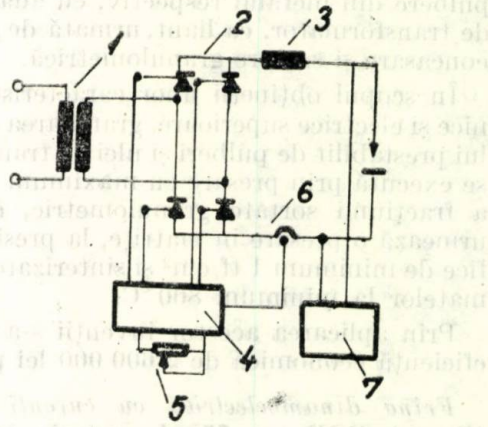


Fig. 14. Sursă de sudură în mediu protector de gaz : 1—trafo ; 2 — punte comandată ; 3 — inductanță ; 4 — bloc de comandă ; 5—potențiometru comandă ; 6— traductor ; 7 — dispozitiv de amorsare.

Sursă de sudare în mediu protector de gaz (Brevet RSR nr. 70420, autori : ing. Dan Ion, ing. Vasile Rădulescu).

Invenția (fig. 14) se referă la o sursă de sudare în mediu protector de gaz ce folosește, pentru

sudarea în curent continuu, o punte comandată cu tiristoare, o inductanţă în circuitul de sudare şi un dispozitiv de amorsare a sursei, iar pentru sudarea în curent alternativ utilizează aceleaşi elemente, comutarea pentru sudare în curent alternativ realizîndu-se prin închiderea circuitului de curent continuu al punţii cu tiristoare, pe o inductanţă şi prin comutarea dispozitivului de amorsare pe circuitul de sudare, în curent alternativ ce este înseriat cu puntea comandată.

Invenţia prezintă avantajul realizării şi asigurării unei suduri de calitate bună şi a economisirii de cupru şi tablă silicioasă datorită soluţiei constructive.

Eficienţa economică între anii 1980—1984 a fost de 8 134 000 lei, fiind aplicată la întreprinderea „Electrotehnica" şi în prezent.

Rotor-disc cu conductoare lamelare (Brevet RSR nr. 53969 autor: ing. Sigismund Şlaiher).

Invenţia se referă la un rotor-disc cu două straturi de conductoare lamelare, obţinute prin ştanţare, fiecare strat fiind alcătuit dintr-o singură folie de cupru sau aluminiu, ştanţată de două ori, înainte şi după lipire pe folia izolantă, astfel încît să se obţină conductoare cu lamele de colector şi conductoare fără lamele, colectorul fiind format din lamele în prelungirea spre centrul discului conductoarelor.

Ca avantaj principal al invenţiei se poate menţiona reducerea la jumătate a consumului de folii de cupru şi obţinerea unui colector cu lamele de grosime mărită.

Procedeu de confecţionare a rotoarelor cu conductoare lamelate ştanţate (Brevet RSR nr. 68657 autori: ing. Sigismund Şlaiher, Toma Sachelarie, ing. Gheorghe Mihai Mihăiescu).

Invenţia se referă la un procedeu de confecţionare a rotoarelor cu conductoare lamelare şi colector, obţinute prin ştanţare, la care raportul dintre numărul de conductoare şi de lamele la colector pe strat este egal sau mai mare ca doi, pentru maşini electrice cu întrefier axial şi rotor-disc şi pentru maşini electrice cu întrefier radial şi rotor cilindric în pahar.

Un avantaj principal al invenţiei îl reprezintă faptul că necesită scule de stanţat, cu un singur poanson, ceea ce reduce costurile de fabricaţie.

Eficienţa economică împreună cu brevetul RSR nr. 53969 este de 48 000 000 lei.

3. Măsurile luate în timp pentru asigurarea unei dezvoltări continue a activităţii de invenţii şi inovaţii

Asigurarea unei dezvoltări continue a activităţii de invenţii şi inovaţii, ca şi a oricărei alte activităţi, presupune măsuri, organizare, măsuri de orientare, urmărire şi verificare a atingerii obiectivelor propuse. Activitatea de invenţii şi inovaţii, ca element activ şi eficient de punere în valoare a rezultatelor originale ale muncii de creaţie tehnică, nu poate fi lăsată să se desfăşoare de la sine, deoarece într-o astfel de situaţie, chiar dacă s-ar ajunge la anumite soluţii interesante, acestea, numai întîmplător ar putea să se suprapună cu interesele unităţilor industriale şi de cercetare.

Prin urmare, pentru ca potenţialul creator să fie utilizat cu maximum posibil de eficienţă, acesta trebuie să fie concentrat asupra problemelor prioritare ce se cer a fi rezolvate, să fie orientat şi dirijat, spre problemele respective, iar orientarea presupune prevedere şi organizare.

Măsurile de prevedere şi de organizare în domeniul proprietăţii industriale, în general, şi al invenţiilor, în special, ca şi în toate celelalte domenii, de altfel, trebuie întreprinse şi luate în strînsă corelare cu prevederile legale în acest domeniu. Sub acest aspect legislaţia în vigoare obligă unităţile socialiste de stat:

— să organizeze şi să asigure desfăşurarea activităţii de invenţii şi inovaţii, astfel încît să asigure protecţia şi valorificarea eficientă a soluţiilor tehnice brevetabile, realizate în cadrul unităţii[5];

— să stimuleze şi să îndrume activitatea cadrelor ştiinţifice şi tehnice pentru realizarea de invenţii şi inovaţii de înaltă eficienţă economică şi socială, care să fructifice, la nivel superior potenţialul de gîndire ştiinţifică şi tehnică al poporului român şi, astfel, să asigure promovarea largă a progresului tehnic şi a concepţiei proprii în economie[6];

— să identifice soluţiile tehnice originale realizate şi să acorde sprijin tehnic şi juridic autorilor, pentru elaborarea documentaţiilor de brevetare[7];

— să urmărească felul în care se aplică invenţiile realizate, eficienţa obţinută şi să asigure perfecţionarea continuă a soluţiilor tehnice adoptate[8];

— să stabilească recompensa cuvenită autorilor, pe baza economiilor efectiv obţinute, şi să îndeplinească întreaga procedură de aprobare şi achitare a drepturilor cuvenite inventatorilor[9].

Obligaţiile cu privire la identificarea şi protejarea invenţiilor prin brevete, precum şi pentru valorificarea invenţiilor şi inovaţiilor revin persoanelor cu funcţii de conducere din organizaţiile socialiste[10].

Prin urmare, există un cadru juridic larg, care permite organizarea corespunzătoare, în vederea valorificării depline a potenţialului de creaţie tehnico-ştiinţifică existent. Folosindu-se acest cadru, în decursul anilor, pe măsura acu-

---

[5] vezi Legea nr. 5/1978 cu privire la organizarea şi conducerea unităţilor socialiste de stat, cap. A, art. 10, pct. f şi art. 26, pct. 1.

[6] vezi Legea nr. 62/1974 privind invenţiile şi inovaţiile, art. 21, art. 3.

[7] vezi Legea n . 62/1974, art. 5.

[8] vezi Legea nr. 62/1974, art. 6.

[9] vezi Decretul nr. 93/1976, art. 6.

[10] vezi Legea nr. 62/1974 art. 77.

mulării de experienţă, şi pentru valorificarea tot mai completă a potenţialului creator de care se dispune, s-au luat unele măsuri cu caracter de organizare şi de orientare a capacităţii de creaţie tehnică originală a specialiştilor ICPE, dintre care se menţionează, cu titlu de exemplu, unele :

— organizarea, în timp, a unui colectiv de proprietate industrială, cu sarcini şi obiective concrete în domeniul politicii invenţiilor, inovaţiilor şi mărcilor ;

— instruirea corespunzătoare, cu reîmprospătarea periodică a celor însărcinaţi să se ocupe, sub controlul direct al conducerii, de organizarea şi orientarea activităţii de invenţii şi inovaţii ;

— organizarea unei comisii de invenţii şi inovaţii pe institut alcătuită din specialişti reprezentînd fiecare secţie, laborator sau colectiv de cercetare, astfel încît să fie asigurată o competenţă maximă din punct de vedere al problematicii şi profilului institutului, prezidată de directorul institutului, ajutat de un cadru cu muncă de răspundere din institut. Comisia îşi desfăşoară activitatea pe baza unui regulament de funcţionare, aprobat prin decizie. Sarcina principală a comisiei constă în a asigura asistenţa necesară colectivului de proprietate industrială în toate problemele privitoare la identificarea, protecţia şi valorificarea ca invenţii a soluţiilor tehnice originale, rezultate din activitatea de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică proprie. În acest fel, membrii comisiei reprezintă un veritabil activ al colectivului de proprietate industrială, prin intermediul căruia se ţine o legătură permanentă cu secţiile, laboratoarele şi colectivele de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică şi sînt urmărite sarcinile legate de activitatea de invenţii şi inovaţii, care revin fiecărui colectiv sau secţie de cercetare în parte ;

— organizarea şi activarea cercului inventatorilor şi inovatorilor, pe baza măsurilor stabilite de Comitetul Executiv al Consiliului Central al Uniunii Generale a Sindicatelor din România[11]. Cercul inventatorilor şi inovatorilor, ca formă obştească organizată a mişcării inventatorilor şi inovatorilor, bazată pe principii de participare individuală şi colectivă, stimulează participarea maselor de specialişti, de toate categoriile, la activitatea de creaţie tehnico-ştiinţifică de masă ;

— organizarea unei solide baze de informare şi documentare, cuprinzînd, în afară de mijloacele clasice de informare (cărţi, reviste, buletine etc.) prospecte, norme şi standarde naţionale şi străine, precum şi brevete de invenţii româneşti şi străine, care pot fi prelucrate (înmagazinate şi regăsite) cu mijloace moderne (calculator) ;

— elaborarea, în fiecare an, a unui plan tematic de invenţii şi inovaţii, strîns corelat cu planul de cercetare şi problemele prioritoare ale ramurii ;

— elaborarea de indicaţii metodologice cu privire la : modul de identificare a soluţiilor tehnice originale brevetabile, calitatea de inventator, drepturi şi îndatoriri, brevetabilitatea în diverse domenii specifice ;

— organizarea identificării soluţiilor tehnice originale, rezultate din activitatea de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică proprie, în vederea asigurării protecţiei lor prin brevete de invenţii şi a valorificării eficiente, sub protecţia acestora. Activitatea de identificare a soluţiilor tehnice originale are un caracter organizat şi continuu, fiind reglementată printr-o decizie a conducerii institutului, difuzată şi prelucrată în toate colectivele, laboratoarele şi secţiile de cercetare. Această acţiune are la bază, în afara prevederilor legale, adevărul obiectiv că nu se poate vorbi de o valorificare eficientă a rezultatelor cercetării şi, cu atît mai puţin, de transformarea acestora în mărfuri vandabile rentabil, dacă soluţiile respective nu sînt protejate, în prealabil, prin brevete obţinute în ţară şi, în funcţie de necesităţi, şi în alte state. Prin decizia de organizare a acestei activităţi se dispune, printre altele :

— obligativitatea identificării elementelor presupuse originale, în fiecare lucrare finalizată, cu ocazia avizării în CTS a temelor de plan (faza finală) şi menţionarea, în procesul verbal, a celor constatate cu privire la originalitatea şi la sarcinile de asigurare a protecţiei ;

— nominalizarea celor răspunzători de asigurarea protecţiei şi a termenelor de elaborare a documentaţiilor necesare ;

— participarea la CTS, în mod obligatoriu, a membrilor Comisiei de invenţii şi inovaţii, reprezentînd laboratorul unde a fost elaborată lucrarea ce se avizează ;

— interdicţia publicării lucrării, înainte de asigurarea protecţiei ;

— toate soluţiile tehnice originale, realizate de specialiştii institutului, indiferent de obiectul acestora (electrotehnice, mecanice, chimice, metalurgice etc.) sînt înregistrate la OSIM, prin grija colectivului de proprietate industrială, cu cereri de brevete în care, ca solicitant apare ICPE, institutul preluînd şi calitatea de titular, cu îndeplinirea tuturor obligaţiilor ce-i revin din această calitate. Astfel sînt evitate circulaţii nedorite de documente, care prelungesc perioada de rezolvare şi îngreunează valorificarea ;

— urmărirea rezolvării operative la OSIM a cererilor de brevete de invenţii, depuse de

[11] vezi „Măsuri stabilite de Comitetul Executiv al Consiliului Central al UGSR, privind organizarea şi funcţionarea Cercului inovatorilor din decembrie 1976".

institut și, în funcție de necesitățile impuse de procesul de valorificare, urgentarea rezolvării pe baza prevederilor legale;

— elaborarea, la sfîrșitul fiecărui an de aplicare a unei invenții, a documentației tehnico-economice necesare obținerii aprobărilor legale, pentru plata recompensei, și, apoi, întreprinderea măsurilor necesare pentru plata efectivă a acestor drepturi:

— organizarea, în fiecare an, a unui concurs de invenții și inovații între secțiile, laboratoarele și colectivele de cercetare ale institutului, cu stimularea corespunzătoare a cîștigătorilor concursului (specialiștii care au contribuit la situarea secției, laboratorului sau colectivului lor pe unul din primele patru locuri în concurs);

— asigurarea unei asistențe tehnice, economice și juridice, permanentă și calificată, tuturor inventatorilor și inovatorilor, în toate problemele și acțiunile ce-i preocupă, în special, la întocmirea documentațiilor necesare brevetării în țară și străinătate, precum și la susținerea propunerilor în procesul de avizare și examinare;

— analiza periodică, în cadrul Consiliului științific al institutului, a modului în care se desfășoară activitatea de proprietate industrială și, în special, cea de invenții și inovații, a rezultatelor obținute, a obiectivelor propuse, a inițiativelor și măsurilor ce trebuie întreprinse pentru dezvoltarea în continuare a acestei activități etc.

Eficiența acestor măsuri poate fi exprimată, în prezent, prin faptul că în anul 1984, din punct de vedere al numărului de cereri de brevete înregistrate, ICPE se situează pe primul loc în țară, cu un număr de cereri de brevete de invenție egal cu suma numerelor de cereri de brevete depuse de trei mari unități de cercetare, respectiv de cele situate pe locurile 2, 3 și 4.

4. Concluzii

● Măsurile întreprinse au permis crearea, în cadrul institutului, a unui climat favorabil promovării inițiativelor creatore, respectiv a creației tehnice originale, climat ce se manifestă la toate nivelele — Consiliul științific, direcție, conducerea secțiilor, laboratoarelor etc. Este semnificativ faptul că, în prezent, în institut, practic, nu există specialist cu muncă de răspundere, care să nu aibă calitatea de inventator, ceea ce asigură dezvoltarea acestui climat. Existența, într-o unitate, a unui astfel de climat reprezintă o garanție a creșterii continue a activității de invenții și inovații, precum și a eficienței acesteia.

● Activitatea de invenții, desfășurată în diverse etape în cadrul institutului, s-a îmbinat, încă de la început, cu activitatea de cercetare în toate fazele acesteia, contribuind la punerea în valoare, în mod eficient, a rezultatelor originale ale cercetării.

● Cu toate că activitatea de invenții, în perioada de început, prezintă și unele aspecte de discontinuitate, tendința de creștere a fost evidentă încă de la început, rezultatele fiecărei etape ulterioare fiind clădite pe rezultatele etapelor anterioare.

● Activitatea de invenții a crescut, de la o etapă la alta, nu numai cantitativ, ci și calitativ, calitatea fiind atestată de creșterea continuă a eficienței economice a invențiilor aplicate în economie.

● Rezolvarea problemelor privind stimularea morală și materială a inventatorilor a reprezentat și reprezintă un factor favorizant al dezvoltării continue și a creșterii eficienței activității de invenții.

● Dezvoltarea continuă a activității de invenții și inovații presupune existența în unitate a unei baze documentare, din care să nu lipsească brevetele de invenții — sursă de informare care redă cel mai recent stadiu al tehnicii pe plan mondial, permițînd găsirea de soluții proprii originale brevetabile și valorificabile.

● Activitatea de cercetare științifică și inginerie tehnologică, pentru a conduce la rezultate de nivel mondial, sau care să depășească acest nivel, trebuie să se bizuie, să fie însoțită și apoi continuată, de o activitate de proprietate industrială profundă și bine organizată, într-un climat favorabil dezvoltării permanente a creației tehnico-științifice originale brevetabile.

● Brevetul de invenție reprezintă suportul și, în același timp, scutul valorificării superioare a produselor inteligenței proprii, cele mai de preț produse existente pe piața mondială, așa cum arăta tovarășul Nicolae Ceaușescu, secretarul general al partidului nostru.

● În condițiile actualei etape de dezvoltare, pe plan mondial nu mai este de conceput o organizare eficientă a activității de cercetare științifică și inginerie tehnologică, fără îmbinarea organică a acesteia cu activitatea de proprietate industrială. Ar însemna acceptarea decalajului tehnologic ca o fatalitate și înlăturarea oricăror posibilități de recuperare a investițiilor făcute în cercetare, ar însemna aservirea tehnologică față de cei mai dezvoltați.

● Este posibilă și absolut necesară organizarea eficientă a activității de proprietate industrială, deoarece există un larg cadru legal pentru aceasta. Este nevoie doar de înțelegerea necesității și de inițiativă. Problema prezintă o deosebită importanță ținînd seama de măsurile adoptate în țara noastră — începînd cu Congresul al IX-lea al PCR — din inițiativa secretarului general al partidului, tovarășul Nicolae Ceaușescu, în direcția promovării cercetării tehnico-științifice originale și a cooperării internaționale în acest domeniu. Grija pentru protecția și valorificarea eficientă a creației tehnico-științifice proprii, reprezintă un mod responsabil de abordare a acestor probleme, în

condițiile unei țări angajate ferm în procesul industrializării și modernizării economice, fiind una din căile posibile de consolidare a independenței economice a țării.

● Abordînd această problemă nu trebuie uitat că cercetarea științifică și ingineria tehnologică are sarcina de a alimenta cu soluții tehnice și tehnologice originale sectoarele productive, aflate în rapidă expansiune, cu ciclu scurt de înnoire și modernizare a produselor pentru a acoperi nevoile variate ale tuturor utilizatorilor, contribuind astfel la progresul tehnic al economiei noastre naționale, la reducerea și eliminarea importurilor și la lărgirea potențialului de export, în condiții de siguranță.

CZ 621.313

COLABORARE
REZULTATE
MAȘINI ELECTRICE

Rezultate ale colaborării dintre ICPE — București și IAEAME — Sfîntu Gheorghe pe linia promovării noului și progresului tehnic în fabricația de mașini electrice

COMSTANTIN APETREI, IOSIF BENEDEK, VICTOR NIȚIGUȘ, LAURENȚIU VĂTAFU, RODICA ZLATANOVICI

Fabricația de mașini electrice în R.S.R. cunoaște, în prezent, o nouă etapă de dezvoltare, determinată, în principal, de necesitatea realizării unor produse cu performanțe la nivel mondial și un înalt grad de valorificare a materiilor prime și materialelor, atît prin dezvoltarea unor mașini electrice speciale, cît și prin „înnobilarea" acestora cu sistemele aferente de comandă electronică. De asemenea, un rol important îl are necesitatea elaborării și asimilării în fabricație a unor noi tipuri de mașini electrice, în vederea eliminării importului.

Elaborarea de mașini electrice, în cadrul ICPE—București, reprezintă o activitate cu tradiție. Această activitate a început cu cercetarea, proiectarea și introducerea în fabricația întreprinderilor de profil a unor mașini electrice de uz general, ajungîndu-se ca, în prezent, institutul să fie implicat în cercetarea, proiectarea și dezvoltarea unei mari diversități de tipuri de mașini electrice, atît de uz general, cît și speciale și specializate, inclusiv a unor sisteme de comandă electronică aferente.

În funcție de gradul de complexitate tehnică și tehnologică, o parte din mașinile electrice cercetate și proiectate la ICPE au fost concepute pentru microproducția proprie, urmînd ca, ulterior, să fie transferate, treptat, unor fabrici de profil, iar o altă parte au fost concepute și dezvoltate în colaborare directă cu întreprinderile de mașini electrice.

Pe linia colaborării directe cercetare-întreprinderi de profil, pentru modernizarea și diversificarea producției de mașini electrice, colaborarea dintre ICPE și IAEAME—Sf. Gheorghe se înscrie cu rezultate bune, rod al eforturilor conjugate ale institutului și întreprinderii.

Trebuie menționat faptul că, în alegerea acestei întreprinderi ca viitor fabricant și, bineînțeles, colaborator, încă din faza de concepție a produselor, ICPE a avut în vedere, ca și în cazul colaborării cu celelalte întreprinderi de profil, asigurarea unui grad corespunzător de integrare a produselor noi, folosirea elementelor tipizate și utilizarea materialelor refolosibile.

Astfel, în anul 1980, în urma solicitărilor insistente ale constructorilor de mașini de ridicat și transport uzinal — justificate de necesitatea modernizării și creșterii competitivității acestor mașini — fabricanții de mașini electrice au primit, ca sarcină urgentă, asimilarea în producție a unei noi serii de motoare asincrone-frînă, cu rotor conic și frînă conică inclusă. Această soluție constructivă, care, funcțional, permite realizarea unor utilaje complexe cu microviteză, ar fi implicat investiții noi cifrate la zeci de milioane lei, inclusiv o eventuală achiziționare de licență. Abordînd această problemă un colectiv de cercetare din cadrul ICPE a reușit ca într-un termen foarte scurt să elaboreze o soluție constructivă originală, verificată funcțional pe un model experimental.

Rezultatele experimentelor au confirmat faptul că, atît din punct de vedere funcțional, cît și al performanțelor, soluția ICPE poate înlocui cu succes soluția motorului cu rotor conic, avînd în plus avantajul tehnologic al unei con-

strucţii clasice cu rotor cilindric. Avîndu-se în vedere gama de puteri solicitate de beneficiari, cea mai indicată întreprindere pentru asimilarea în fabricaţie a acestor produse era IAEAME — Sfîntu Gheorghe. În cadrul unui contract de cercetare, încheiat între institut şi această întreprindere, printr-o colaborare permanentă între cercetătorii din ICPE atît cu proiectanţii, fie ei constructori sau tehnologi, cît şi cu secţia de execuţie prototipuri din cadrul întreprinderii, s-a perfecţionat soluţia elaborată de ICPE şi s-a dezvoltat seria de motoare asincrone-frînă, tip MAF, realizată prin diversificarea seriei de motoare asincrone pentru uz general, tip MA, din fabricaţia IAEAME—Sf. Gheorghe.

Motoarele electrice asincrone-frînă, din seria MAF, vin să satisfacă atît solicitările producătorilor interni de maşini de ridicat şi transport uzinal, cît şi producătorii de maşini-unelte, maşini din industria uşoară etc. Realizarea lor în ţară conduce la eliminarea importului de motoare-frînă cu rotor conic (DEMAG-RFG).

Totodată, motoarele tip MAF vor înlocui practic motoarele cu frînă ataşată tip ASFM, avînd performanţe tehnico-economice net superioare. Motoarele-frînă din seria MAF se încadrează în categoria motoarelor cu „autofrînare", la care forţa necesară acţionării frînei este generată de cîmpul magnetic propriu al motorului. Soluţia constructivă originală, brevetată atît în ţară, cît şi în străinătate, ca şi nivelul ridicat al performanţelor le recomandă şi pentru export.

Cu ocazia elaborării motoarelor din seria MAF, gabaritele 63÷132, a fost extinsă şi seria de bază MA cu motoarele din gabaritele 63 şi 71, performanţele acestora fiind, de asemenea, la un nivel competitiv.

Un alt domeniu important, în colaborarea dintre ICPE şi IAEAME—Sf. Gheorghe, l-a reprezentat domeniul utilajelor pentru industria confecţiilor. Modernizarea acestor utilaje, ca de altfel a tuturor utilajelor tehnologice, a fost şi rămîne în continuare un scop, în sensul obţinerii unor productivităţi din ce în ce mai mari în procesul de fabricaţie. A fost necesară elaborarea de către specialiştii ICPE a sistemului de acţionare pentru maşini de cusut şi (sau) surfilat industriale, tip SAMCI, într-o concepţie proprie brevetată, care să înlocuiască motorul de acţionare cu cuplaj mecanic cu fricţiune. Ca şi în cazul motoarelor din seria MAF, sistemul a fost perfecţionat prin colaborarea cu specialiştii întreprinderii şi asimilat în fabricaţie.

La asimilarea noului tip de sistem de acţionare s-a avut în vedere valorificarea superioară a produselor aflate deja în fabricaţia de serie la IAEAME. Concret, este vorba de o utilizare specială a motorului asincron cu rotor în scurtcircuit de uz general tip MA 19 F 100-2A. În cadrul ansamblului de acţionare, motorul electric este asociat cu un sistem de cuplaje electromagnetice cu fricţiune care, împreună cu un volant inerţial autoventilat, constituie un sistem de acţionare cu turaţie variabilă, alimentat de un bloc de comandă electronic, care face parte integrantă din sistem. Sistemul de acţionare tip SAMCI asigură coaserea în regim de viteză variabilă continuu, cu oprirea acului la sfîrşitul cusăturii într-o poziţie fixă predeterminată („sus" sau „jos"), ridicarea picioruşului şi acţionarea dispozitivelor de tăiere şi slăbire a firului.

Caracteristicile tehnice ale produsului, printre care : regimul dinamic la cuplare şi frînare, gama de reglare a turaţiei, precizia de poziţionare, sînt comparabile cu cele ale produselor similare fabricate în RFG, SUA, Italia etc.

Realizarea produsului, la un nivel calitativ corespunzător implică obţinerea unor precizii ridicate în ceea ce priveşte paralelismul, concentricitatea şi perpendicularitatea suprafeţelor unor repere mecanice, ceea ce a impus o colaborare susţinută între proiectant (ICPE) şi executant (IAEAME), atît pe parcursul realizării pregătirii de fabricaţie, a asistenţei tehnice şi de service la beneficiar, cît şi, în prezent, în scopul modernizării în continuare a produsului, al fiabilizării lui.

Similar, ca şi în cazurile menţionate, a fost asimilat în fabricaţia IAEAME tahogeneratorul sincron tip TA-1, produs al tehnicii de vîrf. Acesta este destinat măsurării turaţiei la motoarele termice (nave, transport rutier, metrou), cît şi pentru aplicaţii speciale.

În scopul ridicării calităţii produselor, ICPE a realizat, pentru IAEAME—Sf. Gheorghe, standuri de încercări pentru verificarea motoarelor asincrone trifazate, standuri pentru detectarea defecţiunilor punctiforme la conductoarele din cupru emailat, proiect pentru camera fonică etc. Totodată, specialiştii din ICPE au acordat, în permanenţă, asistenţa tehnică necesară pentru rezolvarea corespunzătoare a unor probleme conexe privind fabricaţia maşinilor electrice în cadrul IAEAME—Sf. Gheorghe.

Colaborarea institut-întreprindere va continua şi se va perfecţiona în viitor, pentru ridicarea continuă a nivelului tehnic şi competitivităţii produselor fabricii.

În prezent, în scopul reducerii consumurilor energetice şi de materiale, în paralel cu asigurarea unor performanţe la nivel mondial, a apărut necesitatea reproiectării motoarelor asincrone de uz general şi încadrarea lor într-o serie unitară unică.

Fiind vorba de o lucrare de o asemenea amploare (priveşte întreaga gamă de motoare asincrone de uz general), lucrarea va fi executată de ICPE în colaborare directă cu întreprinderile de profil, deci şi cu IAEAME—Sf. Gheorghe.

CZ 621.33 :621.1

ELECTRONICA DE PUTERE
TRACȚIUNE FEROVIARĂ

Electronica de putere pe locomotiva românească

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, VALERIAN CIOFU, DAN MICU, FLOREA BURDUBUȘ, GHEORGHE STĂNESCU ELENA LAPEDATU, ION CRĂCEA, ALEXANDRU SATRAN, GABRIEL NICOLESCU, SERGIU ROZENBERG, GHEORGHE PELINESCU

Una din preocupările permanente ale laboratorului de acționări electrice din ICPE o constituie elaborarea de echipamente noi, diversificate, în domeniul tracțiunii. Astfel, răspunzînd solicitărilor întreprinderii „23 August" — București, s-au realizat, în anul 1977, echipamentele de încălzire-tren cu convertizor static de frecvență, cu circuit intermediar de tensiune continuă constantă pentru echiparea LDH 2400 CP, export R. D. Germană, iar pentru echiparea locomotivei LDE 1300 CP, export în R. P. Polonă, în anii 1984—1985 s-au cercetat și omologat echipamentele de încălzire electrică în curent continuu la 3 kV cu convertire curent alternativ-curent continuu.

La solicitarea întreprinderii „Electroputere" Craiova în perioada 1981—1984 a fost cercetat și realizat în ICPE prototipul unui convertizor static de frecvență pentru alimentarea motoarelor asincrone de tracțiune de 375 kW, pentru echiparea unei locomotive LDE de 3000 CP.

În anul 1981, administrația națională a căilor ferate a hotărît cercetarea și realizarea în R.S.R. a unui prototip de locomotivă electrică tiristorizată de 5100 kW. Prototipul realizat este rezultatul colaborării dintre CCSIT-EP și ICPE, în cadrul ICPE fiind realizate modulele de redresare, regulatorul electronic și filtrele de armonici. Echipamentul de acționare este supus probelor de stand în vederea omologării în anul 1985.

În cele ce urmează vor fi prezentate principalele caracteristici tehnico-funcționale ale acestor echipamente, în ordinea realizării lor, evidențiind elementele specifice electronicii de putere.

1. Convertizor static de frecvență de mare putere, utilizat la încălzirea electrică a trenurilor pentru LDH 2 400 CP [1, 2, 3]

Convertizorul static de frecvență, montat pe locomotivele LDH 2400 CP, fabricate de întreprinderea „23 August"—București, destinate exportului, este utilizat pentru alimentarea circuitelor de încălzire electrică ale vagoanelor, precum și la alimentarea unor instalații auxiliare, cum ar fi echipamentele de încărcare a bateriei de acumulatoare, motoare de acționare a instalațiilor de climatizare.

Generatorul sincron de pe locomotivă, care alimentează convertizorul, este antrenat de cele două motoare diesel, care asigură tracțiunea locomotivei, eliminîndu-se, astfel, orice alte surse auxiliare de energie pentru echipamentul de încălzire al trenului.

Locomotiva are asigurată posibilitatea să funcționeze în regim de tracțiune cu încălzirea electrică a trenului, cuplată separat pe oricare din cele două motoare diesel, sau simultan pe ambele motoare, în funcție de sarcina circuitului de încălzire (300 kVA, respectiv 500 kVA), ceea ce determină o mare eficiență de folosire a echipamentului, consumul de combustibil al locomotivei fiind în acest fel optimizat.

Convertizorul static de frecvență are următoarele date nominale:

- tensiunea nominală la ieșire dreptunghiulară monofazată . . 1 000 Vef;
- curentul nominal la cos $\Phi = 1$ . . 443 A;
- frecvența de lucru . . . 16 2/3 sau 22Hz;
- factorul de putere al sarcinii $0{,}3 \div 1$;
- limitele de tensiune de ieșire la care convertizorul este deconectat cu o temporizare de 3 s; $800 \div 1\,100$ V;
- limitele de tensiune de ieșire la care convertizorul este deconectat netemporizat . . . . . $700 \div 1\,200$ V;
- tensiunea nominală între faze a generatorului sincron . . .800 V;
- frecvența generatorului . . .$133 \div 250$ Hz;
- curentul nominal al generatorului...361 A.

Echipamentul este realizat conform normelor UIC, schema electrică principală este prezentată în figura 1, în care: RT este regulator de tensiune; G — generator sincron; $U >$ releu de tensiune maximă; $U <$ releu de tensiune minimă; $a1$, $a2$ — întrerupătoare trifazate; R — redresor; CI — circuit intermediar (filtru de tensiune); I — invertor; CR — circuit de comandă și reglare.

Convertizorul este realizat cu elemente semiconductoare de putere și se compune din redresorul (R) cu diode în punte trifazată dublă alternanță, filtru și invertorul (I) cu tiristoare, realizat în varianta cu stingere forțată, comandată prin tiristoare de stingere auxiliare, con-

densatorul circuitului de stingere fiind divizat. Această soluție asigură stabilitatea frecvenței tensiunii de ieșire a convertizorului și, implicit, conținutul de armonici în tensiunea dreptunghiulară pe sarcină prin oscilatorul-pilot din blocul de comandă și reglare care generează impulsurile de comandă a tiristoarelor.

corespunzător frecvenței de lucru de 22 Hz, amplitudinea armonicilor este nulă.

Datorită regimului caracteristic de exploatare feroviară, în care vibrațiile, scuturăturile, tamponările sînt solicitări frecvente pentru vagoane, instalațiile electrice de încălzire ale acestora pot prezenta defecțiuni care să ducă la apariția

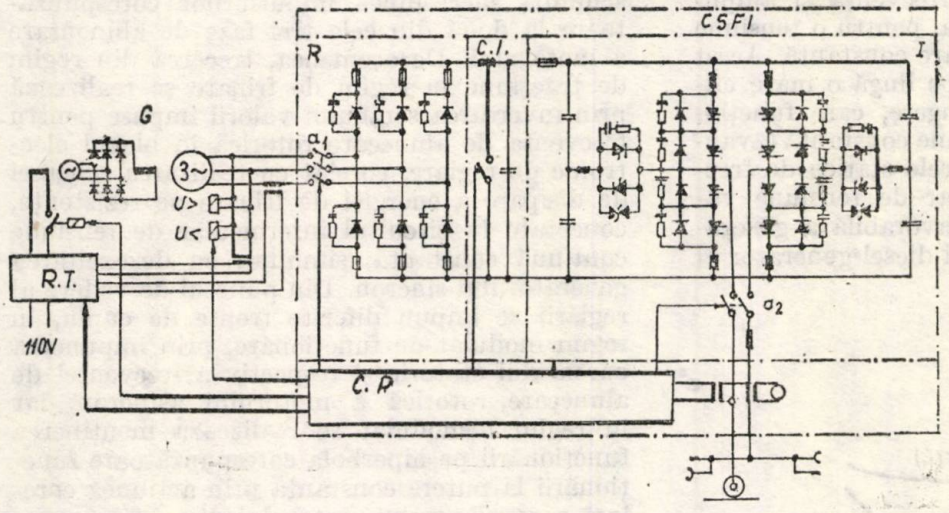


Fig. 1. Schema electrică de principiu a echipamentului de încălzire tren pentru LDH 2 400 CP.

Cerințele impuse blocului electronic de comandă și protecție pentru funcționarea sigură a convertizorului în condițiile specifice regimului de tracțiune sînt următoarele :

- eliminarea semnalelor parazite din electronica de comandă, generate de circuitele de forță care lucrează în regimuri de comutație forțată ;
- asigurarea unei secvențe de pornire și oprire în sarcină a convertizorului ;
- realizarea unei protecții rapide la scurtcircuite interne în invertor, care elimină posibilitatea distrugerii elementelor semiconductoare de putere, precum și a unei protecții totale la scurtcircuitele pe sarcină (vagoane de cale ferată) specifice condițiilor de exploatare feroviară ;
- asigurarea simetriei alternanțelor undei tensiunii de ieșire, precum și supravegherea continuă a acestei simetrii impusă de siguranța circulației ;
- protecții la depășirea limitelor de tensiune de ieșire ;
- protecții la deconectarea sistemului de ventilație.

O cerință deosebită, pentru exploatarea convertizorului în condiții de siguranță extremă pe calea ferată, este impusă conținutului de armonici al tensiunii de ieșire a convertizorului, pentru a se elimina influențele în circuitele de comenzi și semnalizări feroviare.

Astfel, în domeniul 36—47 Hz, 89—108 Hz, amplitudinea armonicilor pentru frecvențele de lucru de 16 2/3 Hz, sau 22 Hz sînt nule, de asemenea, suplimentar în domeniul 46—54 Hz,

unor scurtcircuite în vagoane, acestea reprezentînd scurtcircuite nete la bornele de ieșire ale convertizoarelor, care pot periclita integritatea electrică a semiconductoarelor de putere.

În această situație s-a impus asigurarea convertizorului împotriva scurtcircuitelor pe sarcină printr-un scurtcircuitor, element de protecție rapid, nedistructiv, care permite recuplarea instalației după armarea sa.

În cazul apariției scurtcircuitului într-un vagon, protecția este selectivă, în sensul că se arde siguranța instalației de încălzire defectă, funcționează apoi protecția prin scurtcircuitor și implicit deconectarea convertizorului. La o nouă cuplare a acestuia, instalația de încălzire defectă este izolată și convertizorul alimentează în condiții normale restul de vagoane.

Echipamentul a fost îndelung verificat pe locomotivele produse în serie (cca. 200), însumînd un mare număr de ore de funcționare, dînd satisfacție totală.

2. Convertizor static de frecvență cu invertor cu MID pentru tracțiune [4, 5]

Motorul asincron alimentat de la un convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă constantă, cu invertorul funcționînd pe principiul modulației în durată a impulsurilor după o lege sinusoidală, poate asigura caracteristici mecanice perfect adaptate regimului de tracțiune.

Sînt cunoscute aplicații de acest tip pentru metrou, locomotive electrice sau locomotive diesel-electrice.

În cele ce urmează, se vor face referiri la un echipament de acționare cercetat în ICPE, destinat unei locomotive diesel-electrice, Co-Co de 3 000-CP, care va fi executat de IEPC.

Invertorul convertizorului static de frecvență trifazat, prin comanda cu modulație în durată a impulsurilor, permite obținerea unei tensiuni trifazate de frecvență și amplitudine variabilă la ieșirea sa, pentru o tensiune de intrare continuă de valoare constantă. Acest mod de comandă permite, pe lîngă o mare eficiență a circuitelor de stingere, care funcționează în permanență la tensiune constantă (avantaj net față de convertizoarele statice de frecvență cu circuit intermediar de tensiune variabilă) și o dimensionare favorabilă a generatorului sincron al grupului diesel-generator al

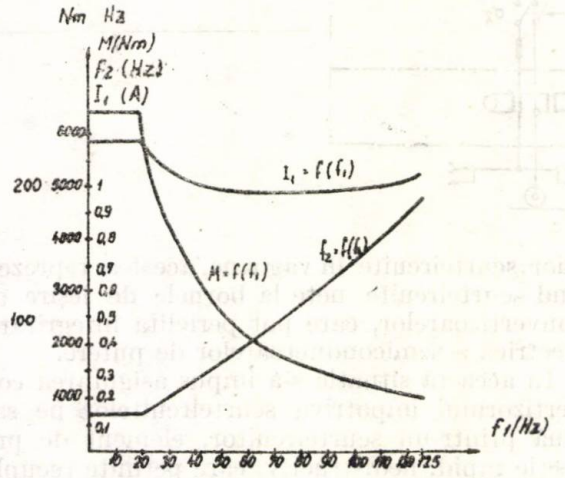


Fig. 2. Caracteristicile cuplului, curentului statoric și frecvenței rotorice funcție de frecvența statorică în domeniul de cuplu constant și, respectiv, putere constantă.

locomotivei. Diagrama forță de tracțiune-turație prezintă o porțiune de forță de tracțiune (cuplu) constantă, care, pentru invertor înseamnă regim modulat de funcționare, iar pentru locomotivă regim de pornire, în care puterea disponibilă a motorului diesel este mai mare decît puterea preluată de transmisia electrică, iar, apoi, o zonă corespunzătoare regimului de putere constantă, în care, la ieșirea invertorului, se obține undă nemodulată de tensiune de amplitudine constantă și frecvență variabilă, în acest domeniu avînd loc corelarea puterii disponibile a motorului diesel cu puterea transmisiei electrice, corelare care se face prin creșterea sau scăderea frecvenței de alimentare a motoarelor de tracțiune.

Prin folosirea unui număr de șase invertoare cuplate în paralel, atît pe partea de curent continuu, cît și pe partea de curent alternativ, conexiune realizabilă datorită caracterului de sursă de tensiune al fiecărui invertor, se conferă schemei posibilitatea unei funcționări cu un bloc de comandă unic, fiind, totodată, exclusă apariția patinării.

Comparativ cu o locomotivă cu transmisie electrică cu motoare de curent continuu, comenzile locomotivei cu motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit, alimentate prin convertizoare statice de frecvență, sînt mult mai simple. Schimbarea sensului de mișcare este realizabilă prin blocul electronic de comandă, la care se schimbă succesiunea impulsurilor corespunzătoare la două din cele trei faze de alimentare a motorului. De asemenea, trecerea din regim de tracțiune în regim de frînare se realizează prin inversarea semnului valorii impuse pentru frecvența de alunecare rotorică în blocul electronic de reglare, corelat cu realizarea schemei de disipare a energiei de frînare pe rezistențe, conectate în circuitul intermediar de tensiune continuă constantă, simultan cu dezexcitarea generatorului sincron. Din punctul de vedere al reglării se impun diferite trepte de cuplu, în regim modulat de funcționare, prin impunerea curentului statoric și respectiv a frecvenței de alunecare rotorică a motorului asincron, iar în regim nemodulat se realizează menținerea funcționării pe hiperbola corespunzătoare funcționării la putere constantă prin acțiunea corelată a regulatorului motorului diesel și a regulatorului electronic al transmisiei de curent alternativ. Punctul de echilibru dintre puterea disponibilă de la motorul diesel și puterea absorbită de transmisia electrică se va afla la o turație (frecvență statorică) ce va corespunde egalității cuplurilor activ și rezistent.

Pe lîngă numeroasele avantaje, legate de transmisia electrică în curent alternativ, sînt de semnalat și unele dezavantaje cum ar fi :

- prezența a șase invertoare de putere, între redresor și motoarele de tracțiune, care presupune un spor de greutate și volum de echipament, oarecum compensat prin diminuarea greutății generatorului principal și a motoarelor de tracțiune ;
- spor de complexitate al echipamentului electronic de comandă și reglare a invertoarelor, care împreună cu necesitatea diversificării echipamentului clasic, neagreată de utilizator, constituie o frînă în calea introducerii sale ;
- cost inițial al locomotivei mai ridicat, datorită electronicii de putere și de comandă mai complexe și necompensat integral de diminuarea prețului motoarelor de tracțiune.

Indiferent, însă, de momentul în care această soluție va fi îmbrățișată de diferitele administrații de căi ferate, ea reprezintă deja o realitate ; tiristoarele cu stingere pe poartă de tensiune și curent mare sporesc și mai mult viabilitatea.

2.1. Invertorul locomotivei. Caracteristici principale

Fiecare din cele șase invertoare ale locomotivei este realizat în varianta cu condensator

de stingere divizat, cu circuit de stingere comandat cu tiristoare auxiliare, cu stingerea realizată prin anularea curentului prin tiristorul care a condus și aplicarea unei tensiuni de blocare egală cu căderea de tensiune în sens direct pe dioda aflată în antiparalel cu tiristorul.

Schema electrică de forță a unei faze a invertorului poate fi urmărită cu ajutorul figurii 1, invertorul fiind principial identic cu cel de încălzire electrică a trenului, dar în variantă trifazată, și cu o comandă cu M.I.D. :

— tensiune continuă de intrare; 1 500 V c.c. ;
— tensiune de ieșire în regim nemodulat (fundamentală); 1 180 V ;
— curent maxim stins . . . . .600 A ;
— frecvența tensiunii de ieșire. .0,4÷125Hz ;
— puterea de tip . . . . . .720 kVA
— ventilație forțată . . . . 1,8 m^3/s.

Blocul electronic de comandă al invertoarelor asigură impulsurile invertorului după cum urmează :

a) 0,4÷22 Hz — regim modulat nesincronizat cu frecvența modulatoare de 200 Hz ;
b) 22÷27 Hz — regim modulat sincronizat cu șase pulsuri ;
c) 27÷35 Hz — regim modulat sincronizat cu trei pulsuri ;
d) 35÷125 Hz — regim nemodulat.

Corelarea tensiunii de ieșire a invertorului cu frecvența este realizată conform schemei de reglare, fiind prevăzute intrări pentru comanda de tensiune și cea de frecvență. Defazajul între tensiunile modulată și modulatoare este ales în regim sincronizat de 180°el. În vederea funcționării sigure sînt prevăzute circuite de formare a impulsurilor minim admise (de gardă) de comandă, semnalele modulat și modulator sînt formate numeric, trcerile de la un domeniu de funcționare la altul sînt continue,circuitele de poartă sînt realizate cu comandă optoelectronică ; întreg blocul este realizat în tehnică C—MOS. La apariția unui scurtcircuit intern toate tiristoarele se aprind, realizîndu-se căi multiple de închidere a curentului de defect, dezexcitîndu-se generatorul, care se și scurtcircuitează mecanic.

2.2. Motorul de tracțiune

Motorul asincron de tracțiune trifazat, realizat la IEPC, este de tipul MAT 375 și are următoarele performanțe :

— tensiunea nominală . . 1 180 V ;
— curentul termic de durată : 320 A ;
— puterea nominală . . . . . 375 kW ;
— număr de poli . . . . 4 ;
— turația maximă . . . .3 700 rot/min ;
— clasă izolație . . . .F ;
— ventilație forțată ;
— traductor de turație încorporat.

Traductorul de turație al motorului, realizat la ICPE — filiala Iași, este de tipul inductiv, cu trei captatori așezați în fața unui disc dințat, plasat pe rotorul motorului în interiorul carcasei.

2.3. Elemente de măsură, circuite de reglare

Pentru realizarea controlului motorului asincron, alimentat de la convertizorul static de frecvență, este necesară măsura următoarelor mărimi, pentru care s-au realizat circuitele de măsură corespunzătoare : curenți statorici(valori instantanee și eficace), turație, alunecare, tensiune continuă de intrare în invertor.

Schema de reglare permite obținerea caracteristicilor de tracțiune atît în domeniul de cuplu constant, cît și în cel de putere constantă, ca și obținerea caracteristicilor de frînare. În regim modulat de tracțiune se controlează curenții statorici și frecvența de alunecare, iar în regim nemodulat se acordează puterea disponibilă a motorului diesel cu puterea cedată transmisiei electrice. În regim de frînare, care duce la creșterea tensiunii circuitului intermediar, datorată funcționării motorului asincron în regim de generator, se controlează puterea debitată în rezistențele de frînare sarcină pentru generatorul asincron.

Schema de reglare asigură, totodată, trecerea din regimul de tracțiune în cel de frînare și, invers, cu invertoarele permanent alimentate.

Echipamentul-prototip de acționare urmează să echipeze, în curînd, o locomotivă prototip, în vederea continuării testelor și stabilirii performanțelor obținute cu această soluție.

3. Locomotiva electrică tiristorizată de 5 100 kW [6, 7, 8, 9, 10]

Utilizarea tehnicii tiristoarelor în comanda locomotivelor electrice face posibilă o mai bună adaptare la cerințele de tracțiune decît comanda prin trepte. Posibilitatea mărită de reglare a unui redresor cu tiristoare, prin intermediul unui regulator electronic, conduce la o reglare foarte fină a forței de tracțiune. Prin aceasta este asigurată permanent o utilizare a forței de tracțiune pînă la limita de aderență dintre roată și șină. În acest fel, în condiții atmosferice vitrege, pot fi tractate trenuri grele mult mai sigur.

Manevrele de conducere a unei locomotive tiristorizate sînt mult mai simple, conducătorul locomotivei trebuie doar să impună forța de tracțiune și viteza dorită.

Proprietățile bune de reglare, manevrarea simplă, mai buna utilizare a puterii instalate, cît și necesarul de întreținere micșorat, reprezintă principalele avantaje ale locomotivelor comandate prin redresoare cu tiristoare.

Tiristoarele oferă aceste avantaje dar, în același timp, introduc și efectele negative cunoscute, care nu pot fi înlăturate, și pentru care trebuie luate măsuri suplimentare de dimi-

nuare. Efectele negative datorate redresoarelor cu tiristoare se exercită asupra următoarelor mărimi :

a. Curentul absorbit de locomotivă de la firul de contact în anumite situații devine mai mare decît cel corespunzător puterii dezvoltate, această creștere a curentului fiind explicată printr-o micșorare a factorului de putere.
b. Curentul absorbit de la firul de contact are un conținut mărit de armonici, în special în momentul demarajului și perturbă circuitele de semnalizare și cale.
c. Apar căderi de tensiune mai mari, datorate comutației, și care pot limita puterea utilă.

3.1. Caracteristicile principale ale prototipului de locomotivă

3.1.1. Datele principale

Locomotiva este destinată pentru remorcarea trenurilor de marfă și călători.

Formula osiilor . . . . .Co-Co.
Ecartamentul șinelor . .1 435 mm.
Tensiunea nominală a firului de contact . . .25 kV ; 50 Hz.
Tensiunea maximă . . .27,5 kV.
Tensiunea minimă . . . .19 kV.
Tensiunea minimă de scurtă durată : 17,5 kV.
Gabaritul :
— la partea superioară STAS 4392-75.
— la partea inferioară UIC 505.
Lungimea peste tampoane 19 800 mm.
Lățimea . . . . . .3 000 mm.
Distanța între centrele boghiurilor . . . . . .10 300 mm.
Diametrul roții în stare nouă . . . . . .1 250 mm.
Raportul angrenajului :
1 :365 (20 ;73) . . .120 km/h,
1 :2,74 (38 ; 104) . .160 km/h.
Greutatea totală :
— cu balast . . . .126±2 t,
— fără balast . . . . 120±2 t.
Sarcina pe osie :
— cu balast . . . .21±2 t,
— fără balast . . . .20±2 t.
Puterea nominală conform UIC 614/1967 (putere de durată la 25 kV) . . . . 5 100 kW.
Forța de tracțiune la obadă în regim continuu cu bandaje semiuzate . . . . . 25,2 t (V = 12 km/h)
18,9 t (V = 160 km/h).
Forța de tracțiune în demaraj . . . . . .40,2 tf ;
Forța de frînare maximă 30,1 tf.
Viteza maximă :
— trenuri de marfă 120 km/h,
— trenuri de călători 160 km/h.

3.1.2. Caracteristicile de tracțiune și de frînare

Figurile 3 și 4 prezintă diagramele forței de tracțiune în funcție de viteză, pentru diverse

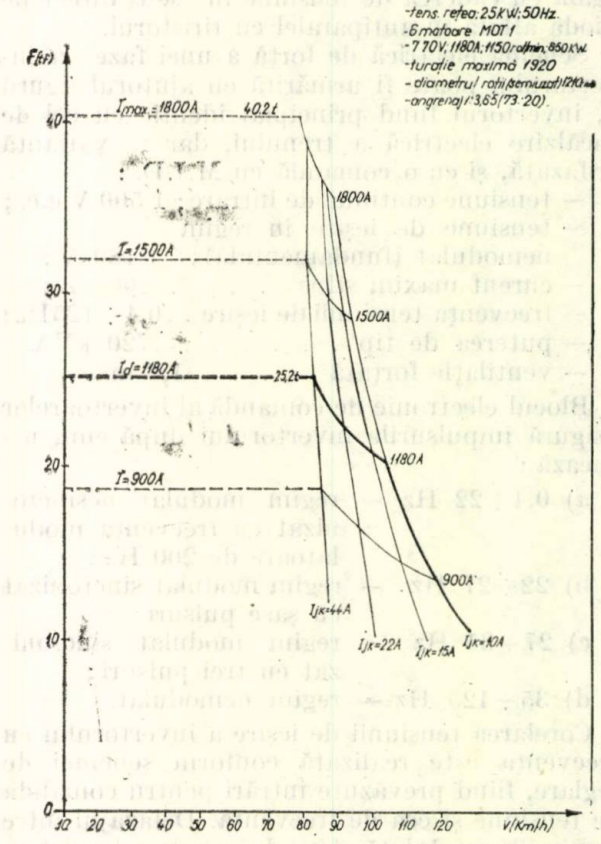


Fig. 3. Diagrama forței de tracțiune funcție de viteză pentru V_{max} = 120 km/h.

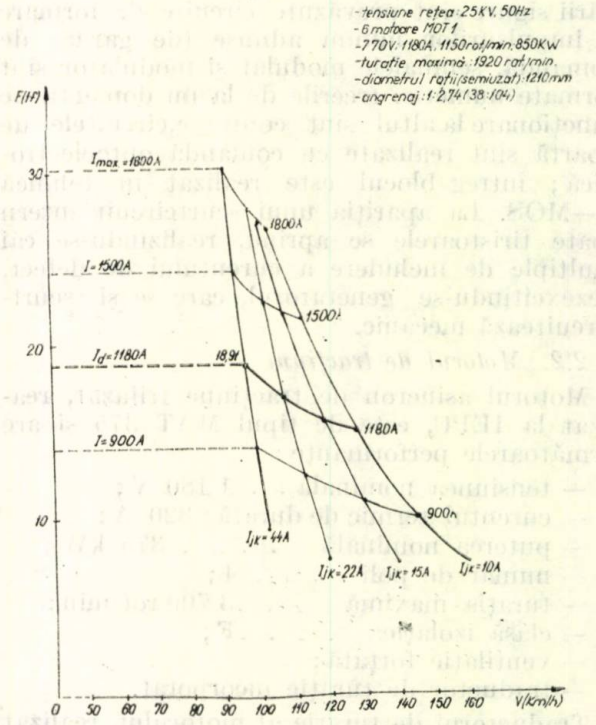


Fig. 4. Diagrama forței de tracțiune funcție de viteză pentru V_{max} = 160 km/h.

sarcini de remorcare impuse. Comanda frînării electrice realizează diverse trepte de curent în rezistența de frînare, precum și, corespunzător, limitarea în trepte a cuplului de frînare. Locomotiva este prevăzută cu o frînă reostatică de 3 700 kW.

3.2. Structura echipamentului electric

3.2.1. Schema de tracțiune-frînare

În figura 5 este prezentată simplificat, schema de alimentare reglabilă a motoarelor de tracțiune.

Transformatorul principal dispune de 6 înfășurări de tracțiune identice. Motoarele de la două osii sînt alimentate în paralel de la același redresor format din două punți semicomandate conectate în serie și comandate secvențial.

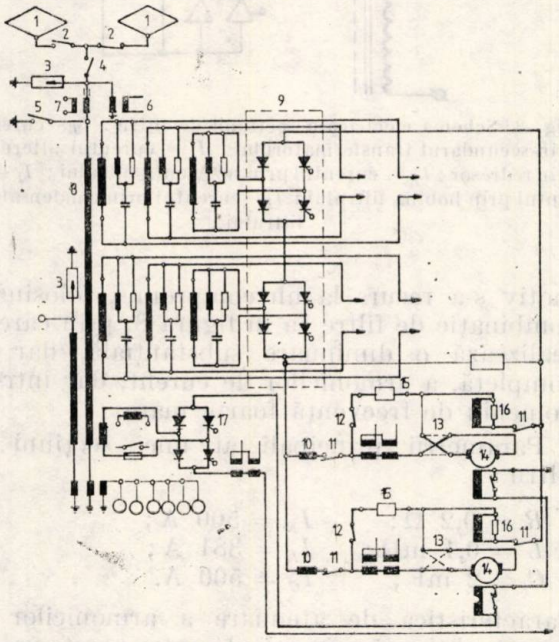


Fig. 5. Schema simplificată de alimentare a motoarelor de tracțiune : *1* — pantograf ; *2* — separator ; *3* — descărcător ; *4* — întrerupător principal ; *5* — separator de punere la pămînt ; *6* — transformator de măsură de i.t. ; *7* — transformator de măsură curent primar ; *8* — transformator principal ; *9* — redresor principal ; *10* — inductanțele de filtrare ; *11* — contactoare de linie ; *12* — contactoare de frînare ; *13* — inversor de mers ; *14* — motor de tracțiune ; *15* — rezistențe de frînare ; *16* — rezistențe de șuntare permanentă ; *17* — redresor de excitație.

Înfășurările de excitație separată de la toate motoarele de tracțiune sînt conectate în serie și excitate dintr-un singur redresor de excitație.

Schimbarea direcției de mers se face prin inversarea alimentării circuitului rotoric.

În cazul defectării unui motor de tracțiune el poate fi izolat din schemă, iar înfășurarea de excitație separată scurtcircuitată.

În timpul regimului de frînare fiecare circuit rotoric este conectat pe o rezistență de frînare proprie și motorul excitat numai pe înfășurarea de excitație separată ; înfășurarea de excitație serie este lăsată deschisă.

3.2.2. Aparataj pe partea de înaltă tensiune

Circuitele de 25 kV sînt dispuse în general pe acoperișul locomotivei și cuprind :

— Pantograful tip EP2 asimetric : $I_{max} = 270$ A
— Separatoarele pentru legătura între cele două pantografe și disjunctor : $I_{max} = 400$ A
— Disjunctorul rapid cu aer comprimat tip IAC : $I_{max} = 400$ A, $P_{rupere} = 250$ MVA
— Transformator de măsură de înaltă tensiune : 25/0,150 kV
— Descărcător de înaltă tensiune, tip XAD 33 s.

3.2.3. Transformatorul și selfurile de netezire

Agregatul transformator înglobează și selfurile pentru motoarele de tracțiune.

Datele principale ale transformatorului :

Înfășurarea primară :
— puterea . . . . . .8 190 kVA ;
— tensiunea . . . . . 25 kV ;
— curent în regim continuu 328 A.

Înfășurarea de tracțiune (6 înfășurări) :
— puterea . . . . . 7 200 kVA ;
— tensiunea . . . . . .6 × 570 V ;
— curent în regim continuu . . . . . .2 100 A.

Înfășurarea de excitație :
— puterea . . . . . .30 kVA ;
— tensiunea . . . . . .600 V ;
— curent în regim continuu 50 A.

Înfășurarea pentru încălzire tren :
— puterea . . . . . .800 kVA ;
— tensiunea . . . . . 1 500 V ;
— curent în regim continuu 534 A.

Înfășurarea pentru servicii auxiliare (separată galvanic de înfășurarea de încălzire tren) :
— puterea . . . . . .160 kVA ;
— tensiunea . . . .790/662 ; 460/386.

Datele tehnice ale selfurilor motoarelor de tracțiune (6 buc) :
— inductanța nominală pentru $I_M = 1\,250$ A . . . . .5,2 mH ;
— inductanța pentru $I_{max} = 2\,000$ A ; . . . . .3,25 mH ;
— curentul nominal . . .1 250 A ;
— tensiunea de izolare 1 200 V.

3.2.4. Modulele redresoare (6 buc)

Modulele redresoare sînt ansamble compacte, care cuprind o punte redresoare, grupul motoventilator pentru răcirea semiconductoarelor și a motorului de tracțiune în canal de ventilație comun și aparatura de comutare aferentă pentru un motor de tracțiune. Schema electrică și desenul de gabarit ale unui modul redresor sînt prezentate în figurile 6, 7.

Parametrii principali ai unui modul de redresare :

— tensiunea de alimentare $U_2 = 575$ V ;
— tensiunea redresată maximă ideală în gol $U_{di} = 517$ V ;
— curentul redresat nominal $I_{dN} = 2\,400$ A ;
— curentul de demaraj . . $I_{dp} = 3\,600$ A ;
— timpul de pornire . . . $t_p = 20$ minute ;
— perioada de repetiție . . $t_r = 30$ minute ;
— debitul aerului de răcire $Q_{min} = 1{,}8$ m³/s.

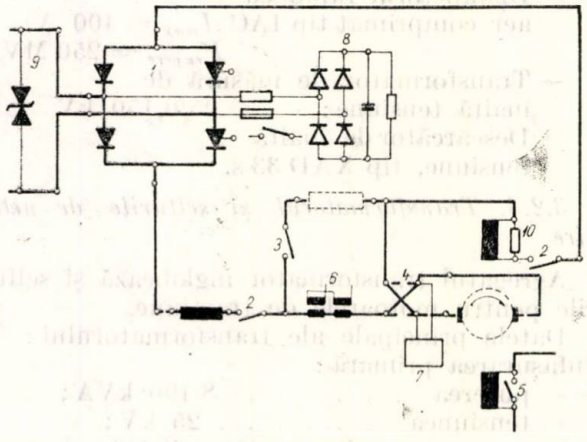


Fig. 6. Schema electrică a unui modul redresor : *1* — redresor principal ; *2* — contactoare de linie ; *3* — contactor de frînare ; *4* — inversor de mers ; *5* — contactor de șuntare ; *6* — traductor de curent ; *7* — traductor de tensiune ; *8* — protecție la supratensiune ; *9* — descărcătoare cu seleniu ; *10* — rezistență de șuntare permanentă a înfășurării de excitație.

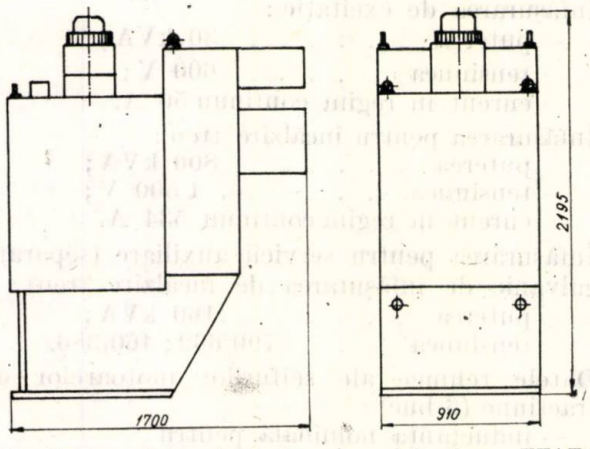


Fig. 7. Desenul de gabarit al unui modul redresor ETAT-R.

3.2.5. Motoarele de tracțiune

Motoarele de tracțiune sînt de c.c. tip MOT1 cu opt poli, excitație mixtă 30 % serie și 70 % separată și ventilație forțată. Pentru a reduce influența ondulației curentului, în paralel cu înfășurarea de excitație-serie este conectată permanent o rezistență. Parametrii principali ai unui motor de tracțiune :

3.2.6. Filtrele de armonici

Redresoarele de tracțiune produc în rețeaua de alimentare armonici de curent care trebuie reduse prin filtre.

Circuite rezonante de tensiune de tipul LC pentru filtrarea fiecărei armonici în parte nu pot fi utilizate, deoarece este necesară o filtrare a armonicilor de curent într-un domeniu de frecvențe de 50 Hz ÷ 3 kHz și pentru aceasta ar fi necesare multe astfel de circuite. În plus, există pericolul stabilirii de rezonanțe paralele cu inductivitatea de alimentare. Din acest

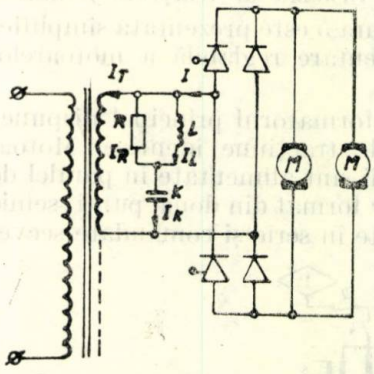


Fig. 8. Schema electrică a secțiunii de filtru : I_T — curentul prin secundarul transformatorului ; I — curentul alternativ prin redresor ; I_R — curentul prin rezistența filtrului ; I_L — curentul prin bobina filtrului ; I_k — curentul prin condensatorul filtrului.

motiv s-a recurs la un compromis, folosind o combinație de filtre ca în figura 8, prin care se realizează o diminuare substanțială, dar nu completă, a armonicilor de curent, dar într-un domeniu de frecvență foarte mare.

Parametrii principali ai unei secțiuni de filtru :

$R = 0{,}2\ \Omega$; $I_R = 500$ A ;
$L = 0{,}1$ mH ; $I_L = 381$ A ;
$C = 2$ mF ; $I_C = 500$ A.

Caracteristica de atenuare a armonicilor de curent, obținută prin calcul pentru aceste valori, este prezentată în figura 9.

3.2.7. Electronica de comandă și reglare

Întreaga electronică de comandă și reglare este conținută într-un dulap cu sertare montate pe rame rabatabile, amplasat în sala mașinilor.

Electronica de comandă și reglare este organizată sub forma unei unități centrale și a trei linii identice corespunzător celor trei redresoare de tracțiune. Integritatea și starea diverselor grupe funcționale este semnalizată prin diode luminescente montate pe frontoanele plăcilor.

3.2.8. Serviciile auxiliare

Serviciile auxiliare (aer comprimat, ventilație, pompă ulei răcire transformator) sînt motoare trifazate 3 × 380 V, 50 Hz, cu excepția celui de la compresorul auxiliar care este de tip CE12 și este alimentat în curent continuu la 110 V. Alimentarea motoarelor trifazate pentru servicii auxiliare se realizează de la prizele 790 V, 460 V sistem convertizor static de 160 kVA.

4. Echipament de încălzire electrică cu conversie c.a. — c.c. pentru LDE 1300 CP

Echipamentul, cu puterea de 275 kVA, a fost solicitat de întreprinderea „23 August" — București, pentru dotarea unei noi serii de locomotive (LDE 1300 CP), destinată exportului în R.P.P., care are în parcul său vagoane de călători echipate cu circuite de încălzire electrică a căror tensiune nominală de alimentare este de 3 000 V curent continuu.

Stabilirea schemei de principiu, pentru realizarea echipamentului de încălzire, a avut în vedere soluționarea a două probleme distincte, dar care au condus, în final, la adoptarea aceleiași soluții :

— valoarea ridicată a tensiunii continue necesară pentru alimentarea circuitelor de încălzire, care într-o soluție de convertizor c.a. — c.c. cu 6 pulsuri ar fi necesitat dispozitive semiconductoare cu tensiune inversă prea mare ;

— cerințe deosebit de severe privind nivelul valorilor admise pentru componentele armonicilor curentului de încălzire care se închid prin linie cu scopul evitării apariției unor semnalizări sau comenzi intempestive în circuitele de cale.

Aceste solicitări au condus la adoptarea unei soluții utilizînd o variantă de redresare polifazată a cărei schemă de principiu a echipamentului realizat este prezentată în figura 10.

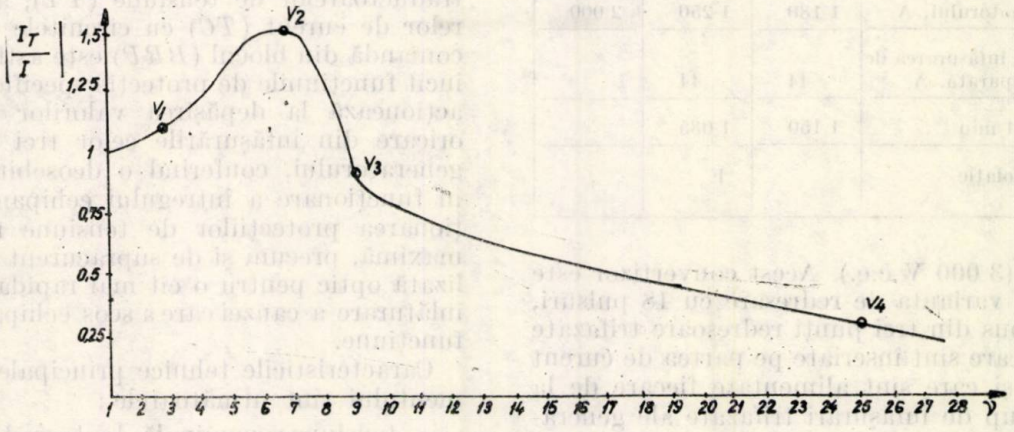


Fig. 9. Caracteristica de atenuare calculată pentru o secțiune de filtrare pentru $R = 0{,}2$; $L = 0{,}1$ mH ; $C = 2$ mF.

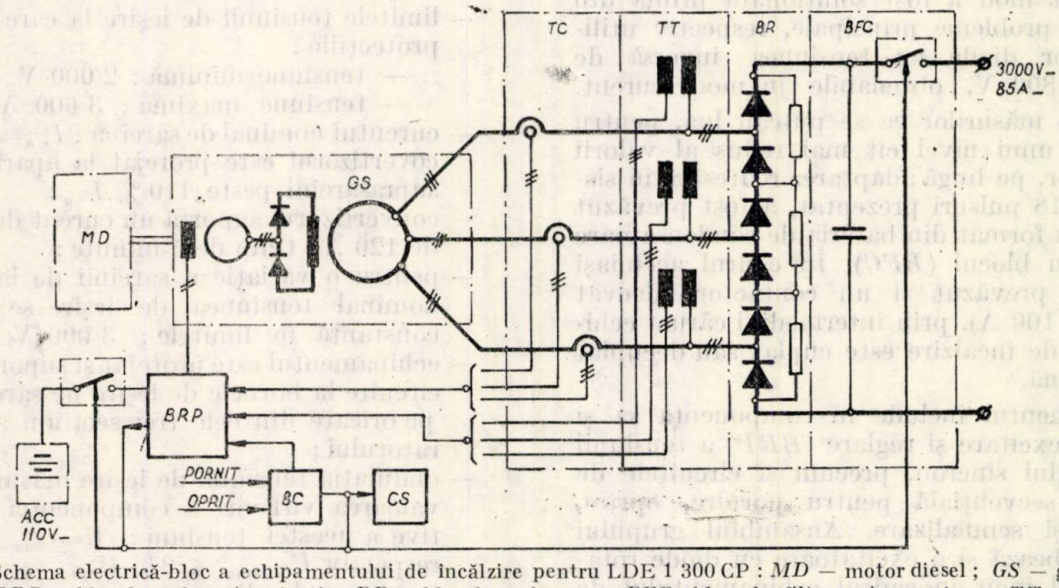


Fig. 10. Schema electrică-bloc a echipamentului de încălzire pentru LDE 1 300 CP : *MD* — motor diesel ; *GS* — grup generator sincron ; *BRP* — bloc de reglare și protecție ; *BR* — bloc de redresare ; *BFC* — bloc de filtrare și comutare ; *TT* — transformator de tensiune ; *TC* — transformatoare de curent ; BC — bloc de comandă secvențială ; *CS* — bloc circuite semnalizare.

După cum se observă din această schemă, motorul diesel (*MD*) al locomotivei, antrenează un generator sincron (*GS*) de 300 kVA, care furnizează la bornele sale de ieșire trei sisteme trifazate de tensiuni alternative decalate între ele cu cîte 40°el, de valoare reglată constantă (775 Vef) și cu frecvență variabilă între 93 ÷ 175 Hz, în funcție de regimul de turație al motorului diesel. Convertizorul c.a. — c.c. din blocul de redresare (*BR*) este alimentat cu tensiunile furnizate de generatorul sincron și asigură la ieșire o tensiune continuă de valoare

Tabelul 1

	Regim de durată	60 minute	Regim de pornire
Puterea la ax, kW	850	900	
Tensiunea motorului, V	770	770	
Curentul motorului, A	1 180	1 250	2 000
Curentul în înfășurarea de excitație separată, A	44	44	
Turația, rot/min	1 150	1 085	
Clasă de izolație		F	

constantă (3 000 V c.c.). Acest convertizor este realizat în varianta de redresare cu 18 pulsuri, fiind compus din trei punți redresoare trifazate cu diode, care sînt înseriate pe partea de curent continuu, și care sînt alimentate fiecare de la cîte un grup de înfășurări trifazate ale generatorului sincron.

În acest mod a fost soluționată prima din cele două probleme principale, respectiv utilizarea unor diode cu tensiunea inversă de 2 400 ÷ 2 800 V, obtenabile în mod curent.

Pe linia măsurilor ce se puteau lua, pentru obținerea unui nivel cît mai redus al valorii armonicilor, pe lîngă adaptarea redresării în sistemul cu 18 pulsuri prezentat, a fost prevăzut și un filtru format din bateria de condensatoare figurată în blocul (*BFC*). În cadrul aceluiași bloc este prevăzut și un contactor adecvat (3 000 V; 100 A), prin intermediul căruia echipamentul de încălzire este cuplat sau decuplat de la sarcină.

Echipamentul include în componența sa și blocul de excitare și reglare (*BRP*) a tensiunii generatorului sincron, precum și circuitele de comandă secvențială pentru pornire, oprire, protecții și semnalizare. Ansamblul grupului (*GS*) înglobează și o excitatoare cu diode rotative, astfel încît în cadrul echipamentului de încălzire, blocul (*BRP*) asigură, de fapt, alimentarea înfășurării de excitație a excitatoarei și reglarea tensiunii generatorului sincron, tensiunea furnizată de echipament menținîndu-se, în acest fel, constant la valoarea de 3 000 V c.c., pentru toate valorile curentului de sarcină care nu depășesc curentul nominal.

La depășirea puterii nominale furnizată de convertizor, blocul de reglare asigură menținerea constantă a curentului prin sarcină, asociată cu micșorarea corespunzătoare a tensiunii, în acest regim asigurîndu-se funcționarea pînă la limita de tensiune la care protecția de tensiune minimă (înglobată de asemenea în cadrul blocului (*BRP*) comandă decuplarea echipamentului de încălzire prin dezexcitarea generatorului și deconectarea contactorului din blocul (*BCF*).

De asemenea, blocurile de protecție integrate în echipament comandă dezexcitarea generatorului sincron și decuplarea sarcinii la atingerea unei valori a tensiunii peste limita maximă admisă, precum și la depășirea curenților peste limita maximă reglată. Corelarea între blocul traductoarelor de tensiune (*TT*), a traductoarelor de curent (*TC*) cu circuitele de limitare-comandă din blocul (*BRP*) este astfel realizată, încît funcțiunile de protecție specificate mai sus acționează la depășirea valorilor stabilite pe oricare din înfășurările celor trei secțiuni ale generatorului, conferind o deosebită siguranță în funcționare a întregului echipament. Funcționarea protecțiilor de tensiune minimă sau maximă, precum și de supracurent este semnalizată optic pentru o cît mai rapidă stabilire și înlăturare a cauzei care a scos echipamentul din funcțiune.

Caracteristicile tehnice principale ale echipamentului sînt următoarele:

- tensiunea nominală la bornele de ieșire; $U_{-n} = 3\,000$ V;
- limitele tensiunii de ieșire la care lucrează protecțiile:
  - tensiune minimă: 2 000 V$_-$ ± 4 %;
  - tensiune maximă: 3 600 V — 8 %;
- curentul nominal de sarcină: $I_{-n} = 85$ A$_-$;
- covertizorul este protejat la apariția unor suprasarcini peste 110 % I_{-n};
- convertizorul suportă un curent de sarcină de 120 A$_-$ timp de 5 minute;
- pentru o variație a sarcinii de la zero la nominal tensiunea de ieșire se menține constantă în limitele: 3 000 V$_-$ ± 5 %;
- echipamentul este protejat și suportă scurtcircuite la bornele de ieșire pe sarcină, sau pe oricare din cele trei secțiuni ale generatorului;
- ondulația tensiunii de ieșire măsurată prin valoarea vîrf-vîrf a componentei alternative a acestei tensiuni: $U_{v\text{-}v_{max}} \leqslant 60$ V, respectiv $U_{v\text{-}v_{max}} \leqslant 2\,\%\ U_{-n}$;
- tensiunea de alimentare pentru comenzi și blocul de excitație și reglare a tensiunii: 110 $V^{+25\%}_{-30\%}$;
- temperatura de funcționare: −25°C ÷ + 50°C;
- temperatura de stocare: −35°C ÷ +40°C;
- umiditatea relativă a aerului, maximă: 95 % la 25°C;
- echipamentul este rezistent la șocuri și vibrații.

Din punct de vedere al realizării constructive, echipamentul este compus din trei ansamble principale:

- *dulap de redresare* — care cuprinde blocul de redresare (*BR*) format din trei punți trifazate înseriate, transformatoarele de

măsură de tensiune (*TT*) și transformatoarele de măsură de curent (*TC*);
— *dulap de comandă și reglare* — care cuprinde blocul de excitație și reglare a tensiunii (*BRP*), circuitele de protecție la supratensiune, tensiune minimă, limitarea curentului și supracurent. De asemenea, în acest dulap sînt amplasate contactoarele și releele aparținînd schemei de comandă secvențială și protecție, precum și contactorul de alimentare cu tensiunea de 110 V_ a blocului (*BRP*);
— *dulap de comutare și filtrare* — care cuprinde bateria de condensatoare necesară filtrării tensiunii debitată de convertizor; ansamblul format din două contactoare înseriate pentru 100 A_/3 000 V_; divizorul de tensiune pentru măsurarea tensiunii debitate de convertizor; precum și shuntul pentru măsurarea curentului de sarcină.

La execuția echipamentului s-a ținut seama de respectarea normelor CEI 571; CEI 146; UIC 616-0, Red. II 1980.

Concluzii

Echipamentele descrise anterior, au fost concepute în ICPE și realizate cu componente în ceea mai mare parte asimilate în țară, printr-un efort comun al unităților industriei electrotehnice. Echipamentele de încălzire electrică pentru LDH 2 400 CP au deschis drumul pentru introducerea invertoarelor cu comutație forțată pe material rulant în țara noastră, echipamentele de acționare cu motor asincron fiind o consecință firească a acestei realizări.

Avantajele pe care le-a adus introducerea electronicii de putere în tracțiune, atît pe plan mondial, cît și în țara noastră și experiența cîștigată în ultimii ani în exploatarea acestor echipamente, a impus elaborarea prototipului locomotivei electrice de 5 100 kW descrisă în lucrare, realizare de tehnicitate deosebită și progres tehnic remarcabil, la nivelul tehnicii mondiale.

Echipamentul de încălzire electrică pentru LDE 1 300 CP, la rîndul său, prin robustețe, compactizare și protecție sigură, constituie o bună propagandă pentru electronica de putere în tracțiunea feroviară.

Bibliografie

[1] *Zăroni, R., Micu, D. Crăcea, I.* Convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă constantă de mare putere, utilizat la încălzirea electrică a trenurilor. In: E.E.A., nr. 8, nov. 1981, p. 311.

[2] *Zăroni, R., Micu D., Crăcea I.*, Convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă constantă, Brevet RSR 66150, Brevet RDG 1050157 Brit Pat 2000392 B.

[3] *Micu, D. Zăroni, R., Crăcea, I. Lapedatu E.* Schutzeinrichtung des statischen Frequenzumrichters der Lokomotive BR 119 für die Zentrale Energieversorgung. Schienen Fahrzeuge nr. 1 Ian. 1982 p. 29—32.

[4] *Micu, D., Nicolescu G., Zăroni, R., Lapedatu E.*, ș.a. PWM Inverter for a traction Induction motor. SIMECS 1983 18—19 nov.

[5] *Teich, W.*, Grundsätzliche Abhangigkeiten der Fahrmotor und Wechselrichter Dimensionierung beim Asynchronmotorantrieb. In: ETR Heft 1/2 1975 p. 44—50.

[6] *Gerhard Deppisch.* Die elektrische Ausrüstung der ersten 50 Hz-Wechseltromlokomotive für die Südorfrikanische Eisenbahnen. In: ETR (25) 718—1976. S. 438—443.

[7] *Jürgen Barz.* Fahrzeugelektronik der Zweifrequenz-Serienlokomotive Boureihe 181.2, der Deutschen Bundesbahn. Elektrische Bahnen 47 (1976) 10,5 S. 230—236.

[8] ASEA „Thyristorlokomotive Baureihe E116 der Norwegischen Staatsbahnen Elektrische Bahnen 49 (1978) H 6 S. 158—161.

[9] *József Pandula, Mátyas Rocz.* New 5 000 HP Thyristor Controlled Electric Locomotives Developed by Ganz-Works. In: GANZ Electric Review No. 14/1976 17—28.

[10] *Jean-Pierre Garnier et Pierre Paul Riondel.* Dispositifs commande electroniques pour véhicules moteurs a thyristors de la Société Nationale des Chemins de fer Francais. In: Rev. Brown Boveri 3—76 p. 160—167.

[11] *Micu, D., Zăroni, R., Lapedatu, E.*, Instalație pentru încălzirea electrică a trenului. Brevet RSR 86166.

CZ 621.316.3

APARATAJ DE ÎNALTĂ TENSIUNE
COLABORARE

Statornică și fructuoasă colaborare pentru dezvoltarea aparatajului electric de înaltă tensiune din România

CHIRIL POPESCU, CRISTIAN TRAIAN BÂRCĂ, DUMITRU CÎRSTEA

Orientarea dezvoltării economiei socialiste românești a constituit sarcina esențială a societății anilor 1948—49, cuprinzînd și directivarea electrotehnicii românești.

Realizarea planului de electrificare pe zece ani a presupus asigurarea unei industrii constructoare de echipamente electrotehnice la nivel corespunzător, care, în paralel cu importul de început, să acopere necesarul.

Totodată, concepția în domeniu, urma să se dezvolte pe baza solidelor tradiții ale școlii electrotehnice românești, cu rezultate incluse în circuitul valorilor internaționale, grație unor eminenți specialiști și profesori : C. I. Budeanu, Ch. Cartianu-Popescu, I. S. Antoniu, I. S. Gheorghiu, Al. Popescu, N. Vasilescu-Karpen, D. Hurmuzescu, R. Răduleț, A. Avramescu.

Aceste premise au impus sistematizarea activității de concepție și cercetare prin înființarea cu 35 de ani în urmă a Institutului de cercetare pentru electrotehnică, cunoscut în prezent prin emblema ICPE—București.

Aproximativ simultan s-au inaugurat întreprinderi cu profil electrotehnic, între care „Electroputere" Craiova—IEPC, remarcabilă prin importantul volum de activitate desfășurat și spectrul larg de produse asimilate.

Extinderea activității de cercetare în tot mai multe direcții a avut ca efect mărirea institutului de cercetări — ICPE și înființarea unor noi unități de cercetare, care servesc domeniile specifice în curs de formare și maturizare : automatizarea, proiectarea tehnologică și de investiții, electronica industrială,electrotehnica puterilor și tensiunilor mari etc.

Parte din aceste unități au fost dezvoltate pe lîngă marile platforme industriale de profil, cum este centrul de cercetare de la „Electroputere" din Craiova, care elaborează prin cercetări proprii mașini electrice, aparataj, transformatoare, locomotive, acționări de putere etc.

Institutul bucureștean ICPE a constituit sursa primelor asimilări indigene în domeniul aparatajului de înaltă tensiune și continuă să alimenteze domeniul, ca o puternică sursă de nou, grație cercetărilor complexe interdisciplinare pe care le orientează în cele mai diverse direcții. Această trăsătură modernă a activității institutului anulează specificitatea în activitate și îi permite să abordeze la înalt nivel cele mai variate probleme de cercetare, urmărind permanent finalizarea prin noi produse și tehnologii.

Urmărind evoluția colaborării dintre ICPE, și „Electroputere" în domeniul aparatajului electric de înaltă tensiune, rezultă un exemplu de conjugare a eforturilor, previzional, pentru rezolvarea sarcinilor reieșite din directivele conducerii de partid și de stat.

Explozia de nou și impulsul hotărîtor imprimat economiei, de către Congresul al IX-lea al PCR, sînt ilustrate pregnant de cercetarea și producția de aparataj de înaltă tensine, care au fost orientate spre performanță, ca urmare a dezvoltării sistemului energetic național și a creșterii sferei de utilizare a energiei electrice.

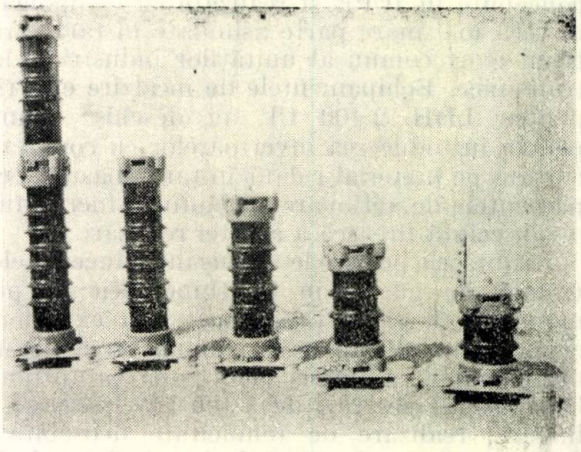


Fig. 1. Seria unitară de descărcătoare tip DRVG.

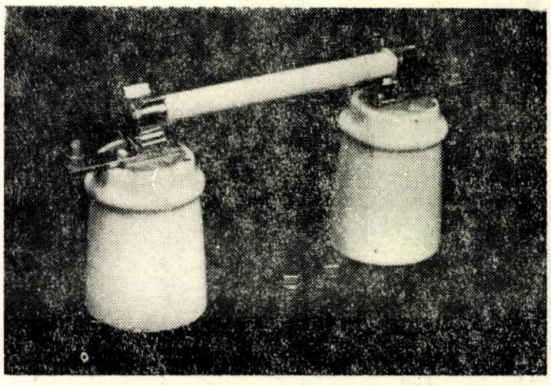


Fig. 2. Siguranță fuzibilă pentru protecția transformatoarelor de tensiune 7,2 kV ; 0,5 A(element de înlocuire FTn-7,2—0,5 cu soclu ScFITm—7,2—10).

Faptul că economia românească își realizează tot aparatajul electric de înaltă tensiune de care are nevoie, este cea mai concludentă dovadă a eficacității oamenilor din cercetarea și producția de profil din „Electroputere" și ICPE.

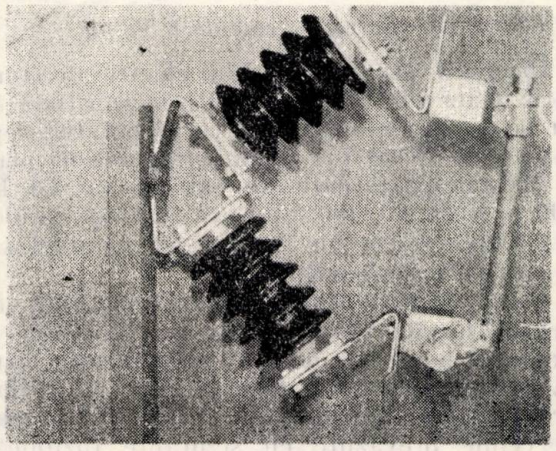


Fig. 3. Siguranță fuzibilă cu expulsie de 12kV și 3÷100 A.

1. Jaloane ale colaborării ICPE—Electroputere

1.1. Descărcătoare pentru protecție la supratensiuni

Primele aparate de înaltă tensiune abordate în ICPE după înființare au fost descărcătoarele cu rezistență variabilă pentru protecția la supratensiune atmosferică. Tînărul institut a început prin formarea bazei de investigare reușind, printre altele, să realizeze primul generator românesc de impuls la înaltă tensiune de 500 kV, 3,75 kJ, extins apoi la 1 000 kV și 11,5 kJ, asigurînd forma de undă 1,2/50 μs (NB : în general tot ce a făcut ICPE în cei 35 de ani a fost premieră națională sau chiar la nivel internațional).

Preluînd principiile cunoscute ale descărcătoarelor cu rezistență variabilă, a fost elaborată o serie tipizată, modulară, DRVS pentru tensiuni de la 6 kV la 110 kV pentru curentul de descărcare de 5 kA.

Asimilarea la „Electroputere" a presupus fabricarea discurilor din carborund la ICPE, pînă cînd tehnologia stabilizată a fost transferată la „Carbochim"—Cluj, împreună cu echipamentul realizat.

În continuare, cercetările din ICPE au condus la creșterea gradului de tipizare, reducerea greutății și mărirea performanțelor în concordanță cu nevoile din exploatare și condițiile normelor internaționale.

Descărcătoarele sînt și acum în atenția cercetătorilor din ICPE, care au pus la punct tehnologii de ardere în hidrogen a rezistențelor neliniare, de realizare a camerelor de stingere ceramice, de utilizare a suflajului magnetic.

În prezent, fabricația descărcătoarelor este transferată la „Electroceramica" — Turda și cuprinde tipuri constructive moderne, competitive

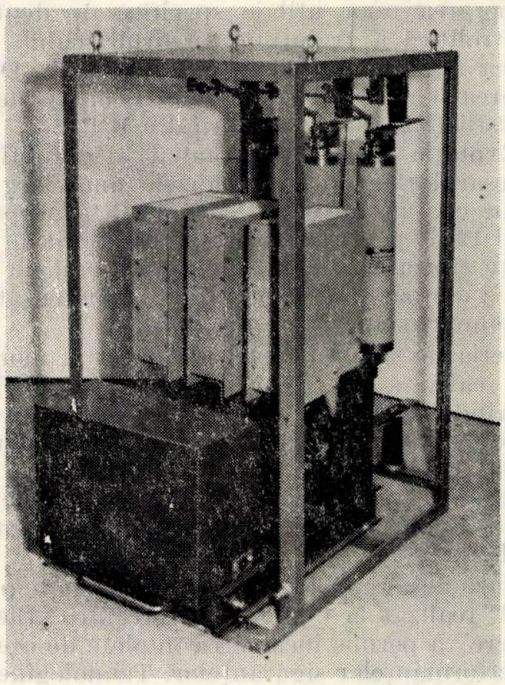


Fig. 4. Ansamblu contactor CM—6kV cu siguranțe tip FIM (produs în anul 1978).

pe plan internațional. Cercetările au în vedere completarea seriei descărcătoarelor cu suflaj magnetic pentru rețele pînă la 420 kV și abordarea noilor tendințe bazate pe oxizi metalici.

1.2. Siguranțe fuzibile de medie tensiune

Protecția circuitelor în cazul supracurenților și scurtcircuitelor este un alt domeniu de cercetare și de colaborare tradițională ICPE—IEPC.

După asimilarea unei serii de siguranțe fuzibile de 6 și 10 kV cu puteri sub 100 MVA, la IEPC s-a constatat rapid că performanțele nu satisfac în tot mai multe cazuri, urmare a creșterii consumului de energie electrică.

Cercetările din ICPE, axate pe aprofundarea studiilor teoretice ale comutației și arcului electric, combinate cu experimentări s-au soldat în perioada 1965—67 cu o serie unitară tipizată de siguranțe fuzibile limitatoare de mare putere. Seria cuprindea la 6, 10, 15, 20, 35 kV variante pentru toți curenții nominali standardizați de la 2,5A la 100A și s-a extins la 400 A.

Performanțele noilor siguranțe au fost atestate și în prima schemă sintetică românească de la ICPE și în laboratorul Bechovice—R.S. Cehoslovacia.

Rezultatele bune obținute (300—600 MVA putere de rupere) au la bază cercetări interdisciplinare de material pentru realizarea cera-

micilor adecvate, purificarea și sortarea nisipului, umplerea cu densitate controlată, sudări de fire din argint pe cupru.

Preluarea fabricației la IEPC a presupus elaborarea unor utilaje specifice de depunere electrolitică a argintului pe firul fuzibil, bobinarea acestuia, vibrarea nisipului etc. Definitivarea tehnologiei s-au făcut în comun de specialiștii IEPC și cercetătorii din ICPE.

Evoluția pe plan mondial și modificarea necesarului intern sînt cauzele unui larg program comun între ICPE și IEPC, început în anul 1977, pentru elaborarea unor serii de siguranțe tipizate specializate pe domenii de utilizare : motoare, transformatoare, condensatoare, precum și siguranțe cu expulsie.

Seria de siguranțe pentru protecția motoarelor realizată de ICPE și asimilată la IEPC cuprinde la 7,2 kV curenții cuprinși între 25A și 400A (13 trepte), avînd capacitatea de rupere 45 kA (25—80A) și 31,5 kA (100—400A). Specificul construcției sînt elementele fuzibile executate din bandă perforată și carcasele dinpînză de sticlă.

Baza materială a laboratorului de mare putere LMP realizat la Centrul de cercetări „Electroputere" a permis încercări complete de atestare a performanțelor siguranțelor. Tehnologiile specifice au fost realizate în ICPE și implementate în fabricație împreună cu specialiștii întreprinderii. Dintre acestea se remarcă dispozitive de ștanțare a fuzibilului, sistemul de etichetare (serigrafic) și procesul de realizare a carcaselor izolante cu pereți subțiri.

Experiența comună acumulată a permis finalizarea cercetărilor pentru seria de siguranțe fuzibile destinate protecției transformatoarelor de tensiune. Tensiunile nominale sînt cuprinse între 7,2 kV și 42 kV la curent nominal de 0,5A, iar capacitatea de rupere este între 63 kA și 16 kA.

Aceste siguranțe care se vor fabrica la IEPC au elementul fuzibil din fir de argint spiralizat pe suport, iar carcasa din sticlă.

Varietatea tipodimensiunilor va fi completată în anul 1985 cu seria de siguranțe fuzibile limitatoare pentru transformatoare de putere și cu seria pentru protecția condensatoarelor.

O experiență interesantă s-a acumulat în urma asimilării siguranțelor cu expulsie de 12 kV și 24 kV. Aceste siguranțe bazate pe suflul gazelor autogenerate de arcul electric, care trebuie stins în final, nu se utilizează în țară fiind un produs exclusiv pentru export. Dificultatea în ceretare a apărut din necesitatea utilizării numai a materialelor indigene, astfel că, fibra vulcan, care este esențială, nu putea fi utilizată. O amplă cercetare de material a angrenat mai multe colective din ICPE și, în final, s-a găsit soluția asimilîndu-se un material specific.

Ca și în alte cazuri au fost realizate la ICPE și utilajele tehnologice de fabricație și control specifice, necesare la IEPC pentru asigurarea performanțelor : capacitatea de rupere 5,6 kA simetric, 8 kA asimetric, la 12 kV respectiv 2,5 kV simetric, 3,75 kA asimetric la 24 kV. Un scop actual este extinderea siguranțelor cu expulsie la tensiuni mai mari.

1.3. Arcul electric de comutație în aer

Începutul studiului arcului electric de comutație în aer a fost făcut la ICPE în anii 1963—65 cu ocazia cercetărilor pentru elaborarea separatoarelor de sarcină cu cameră gazigenă plată.

Aceste separatoare de sarcină de 10 kV, 400 A și 20 kV, 200 A au fost realizate în ideea utilizării elementelor tipizate din producția de separatoare de la IEPC.

Un element de dificultate l-a constituit verificarea capacităților de rupere, deoarece nu existau laboratoare dotate corespunzător, astfel că încercările s-au desfășurat în rețea. Ambele produse au fost asimilate de IEPC, fiind incluse în celule prevăzute cu siguranțe fuzibile în serie.

Studiul comutației în aer a fost dezvoltat la ICPE în anii următori, acumulîndu-se o experiență de investigare cu mijloace moderne (filmare rapidă, înregistrări cu viteză mare etc.), ceea ce a permis realizarea contactoarelor cu suflaj magnetic de 6 kV la curenți de serviciu în gama 10...100 A.

Această cercetare interdisciplinară a condus și la asimilarea unor noi materiale izolante cum sînt : ceramica zirconiferă și rețete de rășini epoxidice.

Aparatul realizat are performanțe la nivelul produselor similare străine asigurînd în regim AC3 peste 120 000 cicluri de manevre, pentru ca rezistența la uzură mecanică să fie de 1,2 milioane manevre.

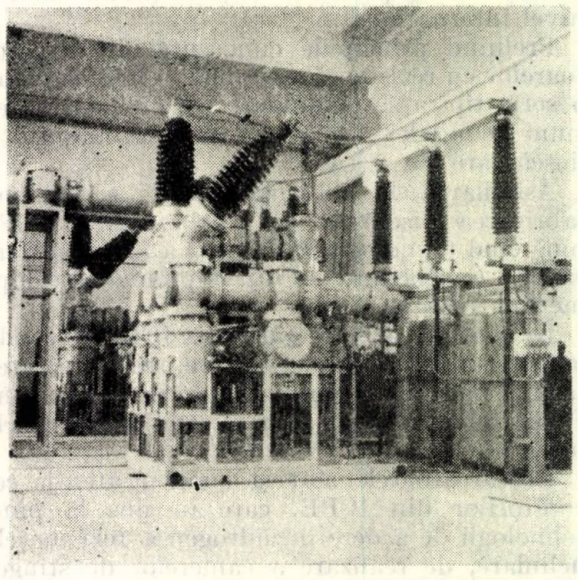


Fig. 5. Celule capsulate izolate în SF6 pentru 123kV ; 1 600 A.

În acest fel s-a realizat și apoi asimilat la IEPC, cel mai rezistent aparat de comutație la înaltă tensiune românesc.

În continuare s-a realizat la ICPE contactorul de 6kV pentru curenți în gama 100...250A cu rezistență la uzură electrică de 30 000 cicluri, asimilat tot la IEPC.

Atestarea acestor performanțe s-a făcut prin încercări în scheme special realizate în laborator, scheme care sînt unice în țările membre ale organizației „Interelectrotest" din care fac parte ICPE și Centrul de cercetări „Electroputere" Craiova.

Contactoarele realizate sînt cu pronunțat caracter de originalitate și constituie subiectul unor brevete.

1.4. Echipamente cu hexafluorură de sulf-SF_6

Abordarea unui nou domeniu în premieră națională a constituit unul din efectele cercetărilor din ICPE pentru realizarea componentelor unei celule cu SF6 la 123 kV.

Destul de recent și pe plan mondial acest aparataj reprezintă o tehnică neconvențională de mare performanță, dar care presupune o tehnologie de execuție foarte pretențioasă.

Cercetările privind izolația s-au desfășurat teoretic, prin modelări matematice și fizice în baie electrolitică, și au reprezentat subiectul a numeroase experimentări. Cercetarea a cuprins o sferă largă de procedee de investigare, care au fost puse la punct în ICPE, astfel că s-a cîștigat și o experiență profesională importantă. Au fost combinate analizele chimice cu cele spectrale de structură, s-a apelat intens la fotoelasticitate și sisteme de măsurare a temperaturii în cîmp, s-a dezvoltat metoda elementului finit pentru optimizarea izolatoarelor, s-a urmărit fizica descărcărilor în gaze și s-a abordat cromatografia gazelor.

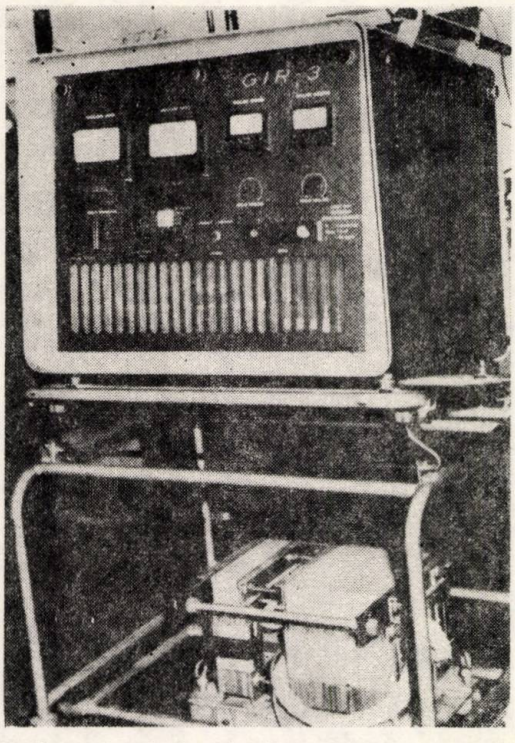


Fig. 6. Generator de impulsuri repetate pentru verificarea izolației mașinilor electrice.

În final, au rezultat separatoare de linie, tronsoane de bară, treceri izolate aer-SF6, scurtcircuitoare și separatoare de legare la pămînt, totul în construcție capsulată, modulară tipizată, care permite o largă combinație de scheme.

Alături de aceste cercetări, specialiștii de la IEPC au dezvoltat întrerupătorul și transformatoarele de măsură, astfel că în final a rezultat celula capsulată de 123 kV cu SF6, originală.

Colaborarea strînsă a condus în acest caz la introducerea, cu forțe proprii de concepție, a unei tehnici moderne competitive pe plan mondial și de mare viitor, asigurîndu-se atît capacitatea de producție, cît și cea necesară dezvoltărilor ulterioare.

1.5. Tehnica de investigare în cercetarea aparatajului de înaltă tnsiune

De la începutul activității de cercetare s-a pus problema dotării cu echipament adecvat de investigare.

Acest motiv a determinat preocupări importante la ICPE pentru construcția surselor de tensiune înaltă, aparatelor de măsură a mărimilor și dispozitivelor de încercare nu numai pentru nevoile proprii, ci și pentru fluxul de fabricație de la IEPC și pentru Centrul de cercetare creat ulterior ca unitate de sine stătătoare.

După construirea primului generator de impuls standard de 1 000 kV, la ICPE s-a realizat pentru IEPC un generator de impuls de 750 kV, 9 hJ pentru unde 1/50 μs, destinat încercării transformatoarelor.

Standul a fost dotat și cu divizor de tensiune rezistiv ecranat de 750 kV, 1 000 ohmi cu timp de răspuns 50 ns, precum și cu dispozitiv de tăiere a undei cu 6 trepte între 1μs și 6 μs. Acest din urmă dispozitiv a asigurat încercările solicitate la primele exporturi românești de transformatoare în India.

Preocupările pentru tehnica impulsului, menținute și perfecționate la ICPE, au permis realizarea generatoarelor de impulsuri repetate pentru verificarea izolațiilor transformatoarelor și secțiunilor bobinajelor mașinilor electrice. În acest scop a fost realizat pentru IEPC un generator de 10 kV cu reglaj continuu al frontului impulsului în gama $0{,}25 \div 3$ μs și durata reglabilă între 25 μs și 100 μs, bicanal. Al doilea generator de 10 kV monocanal a fost destinat verificării izolației motoarelor asincrone din producția IEPC, prin aplicarea impulsurilor cu

frontul reglabil între 0,25 μs și 3 μs, iar durata semiamplitudinii de 50 μs.

Metodele de modelare în băi electrolitice au fost studiate și aplicate sistematic la ICPE, iar experiența acumulată a fost transmisă și la IEPC, în special în domeniul transformatoarelor de forță. Totodată, s-au realizat și pentru IEPC băi electrolitice.

Colaborarea în cercetarea izolației transformatoarelor a fost extinsă și la studiul descărcărilor parțiale, domeniu abordat la ICPE.

Astfel, primele măsurători concrete s-au făcut în comun asupra transformatoarelor de 100—1 000 kVA, 6 și 22 kV, utilizînd metoda și aparatura realizate la ICPE. S-a realizat și predat la IEPC un aparat pentru măsurarea debitului pătratic al descărcărilor parțiale, avînd sensibilitatea de 25 μV, o frecvență de acord de 472 kHz, domeniul de măsură 0÷24 dB și fiind dotat cu un generator intern de etalonare.

Desigur, tehnica investigării descărcărilor parțiale s-a dezvoltat în ultimii ani, aceste măsurători devenind de rutină și obligatorii, dar experiența comună acumulată a condus la posibilitatea preluării tuturor noutăților în domeniu și a permis realizarea unor contribuții proprii.

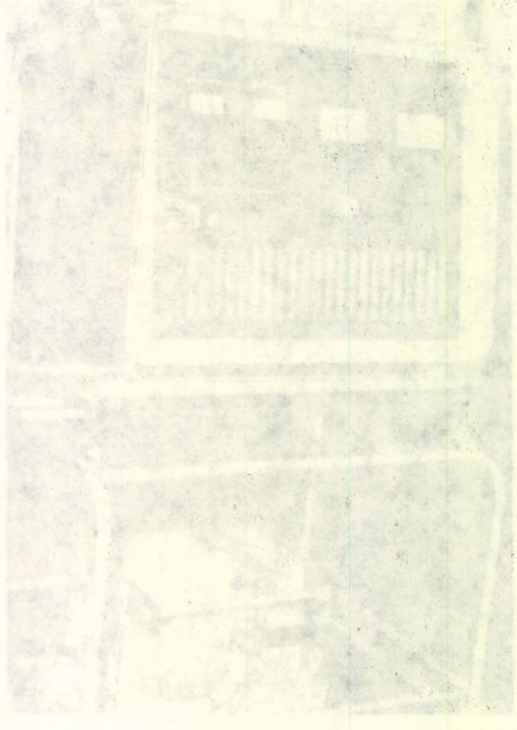
2. Premizele viitorului colaborării

Relațiile strînse între ICPE, Centrul de cercetare și întreprinderea „Electroputere" se consolidează și au o perspectivă care se bazează pe realizările fiecăruia, coordonate prin programe comune. Astfel, cercetările de material din ICPE privind oxizii metalici creează premizele noii generații de comutatoare sub sarcină pentru transformatoare.

Tuburile termocontractabile, elaborate prin iradiere la ICPE, vor asigura progrese în domeniul celulelor de medie tensiune.

Colaborarea pe linie de CAER „Interelectro" și „Interelectrotest" constituie un alt element de unificare a eforturilor de cercetare pentru noi realizări, care să afirme România pe plan internațional.

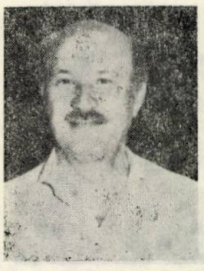
Abordarea complexă a cercetărilor prin cele mai diverse metode constituie caracteristica modului de lucru în ICPE și asigură o largă posibilitate pentru noi colaborări în tehnica aparatajului de înaltă tensiune.



AUTORI AI ARTICOLELOR APĂRUTE ÎN ACEST NUMĂR DE REVISTĂ

Dr. ing. Florin Teodor Tănăsescu — vicepreședinte al CNST

Ing. Cristian Traian Bârcă — director — ICPE



Prof. dr. ing. Constantin Apetrei — director adj. șt. — ICPE

Ing. Valerian Ciofu — director adj. șt. — ICPE

Ing. Ioan Boconcios — director adj. șt. ICPE

Dr. fiz. Ana Maria Moisin — secretar șt. — ICPE

Dr. ing. Chiril Popescu — ICPE

Mat. Paraschiva Onica — director adj. CCE — ICPE

Ing. Elek Demeter — șef laborator ICPE

Ing. Mihai Oprea — șef laborator ICPE

Ing. Sigismund Șlaiher — șef laborator ICPE

Ing. Victor Nițigus — șef laborator ICPE

Ing. Remi Herescu — ICPE

Ing. Rodica Zlatanovici — ICPE

Ing. Laurențiu Vătafu — ICPE

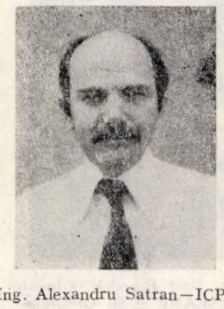
Dr. ing. Dan Micu — șef laborator ICPE

Ing. Emil Lăzărescu — ICPE

Ing. Valeriu Guran — ICPE

Ing. Sergiu Rosenberg — ICPE

Ing. Elena Lapedatu — ICPE



Ing. Alexandru Satran — ICPE

Ing. Viorel Ghiță — ICPE

Ing. Mariana Micu — ICPE

Ing. Ion Crăcea — ICPE

Ing. Gheorghe Stănescu—ICPE

Ing. Gheorghe Pelinescu — ICPE

Ing. Ion Potîrniche — ICPE

Ing. Gabriel Nicolescu ICPE

Dr. ing. Cristian Popescu— șef laborator ICPE

Dr. Fiz. Eugen Toma —ICPE

Dr. fiz. Doina Moraru — ICPE

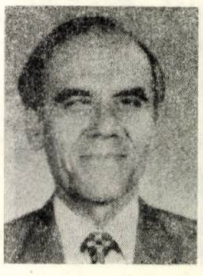
Ing. Nicolae Olariu — ICPE

Munc. spec. Ovidiu Bizim — ICPE

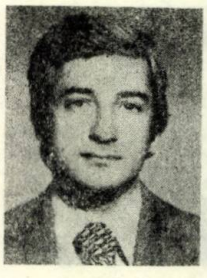
Ing. Mihai Rîpeanu — ICPE

Ing. Theodor Rogoz — șef laborator ICPE

Ing. Olga Papagheorghe —șef secție ICPE



Dr. ing. Eugeniu Diatcu — șef laborator ICPE



Dr. ing. Petre Arabadji — șef laborator ICPE

Ing. Lucian Marinete — șef laborator ICPE

Ing. Gabriel Oblemenco— ICPE

Ing. Petre Simionescu — ICPE

Ing. Marilena Popescu—ICPE

Teh. pr. Niculae Negoiță — ICPE

Ing. Emilian Zaideș — ICPE

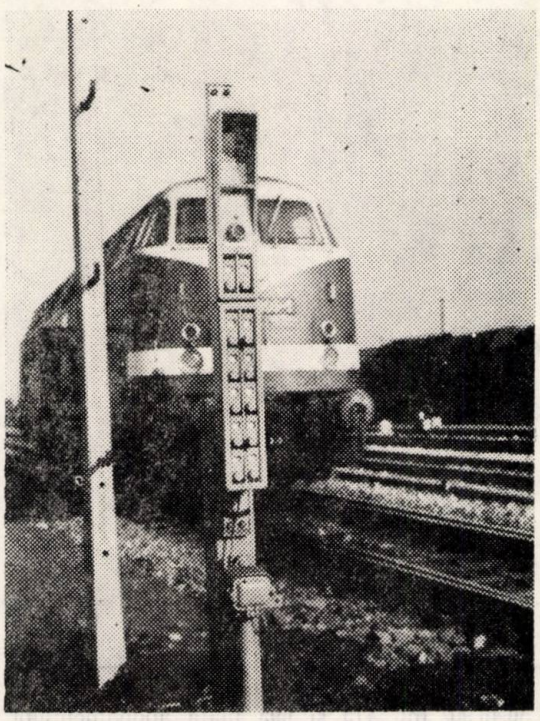
Ing. Paul Stavarache — CCSIT — EP — Craiova

Ing. Iosif Benedek — director IAEAME — Sf. Gheorghe

Dr. ing. Dumitru Cîrstea — director adj. șt. CCSIT — EP — Craiova

Ing. Florea Burdubuș — CCSIT — EP — Craiova

RFT Sistemul de radiocomunicaţii feroviare



asigură o funcţionare raţională a căilor ferate

El este destinat schimbului de informaţii între posturile fixe ale administraţiei căilor ferate şi trenurile aflate în circulaţie. Asigură legături radiotelefonice, transmiterea cu prioritate a apelurilor de alarmă, precum şi a comenzilor şi mesajelor codificate, punînd în permanenţă la dispoziţia dispecerului de cale ferată informaţii privind poziţia trenurilor, starea liniilor şi a semnalelor.

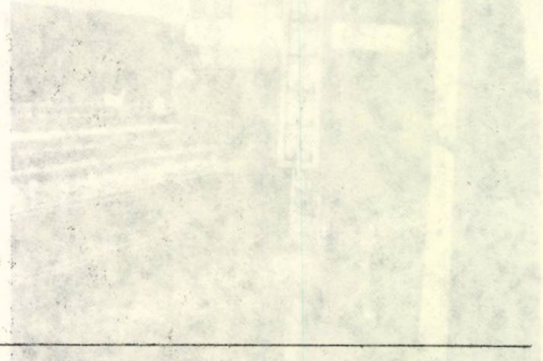
Sistemul de radiocomunicaţii feroviare este compatibil cu exigenţele Uniunii Internaţionale a Căilor Ferate UIC şi ale Programului de promovare a Organizaţiei pentru colaborare între căile ferate (OSShD).

VEB Kombinat Nachrichtenelektronik
DDR-7027 Leipzig, Melscherstr. 7

Exportator :

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR-1026 BERLIN-ALEXANDERPLATZ
• HAUS DER ELEKTROINDUSTRIE •

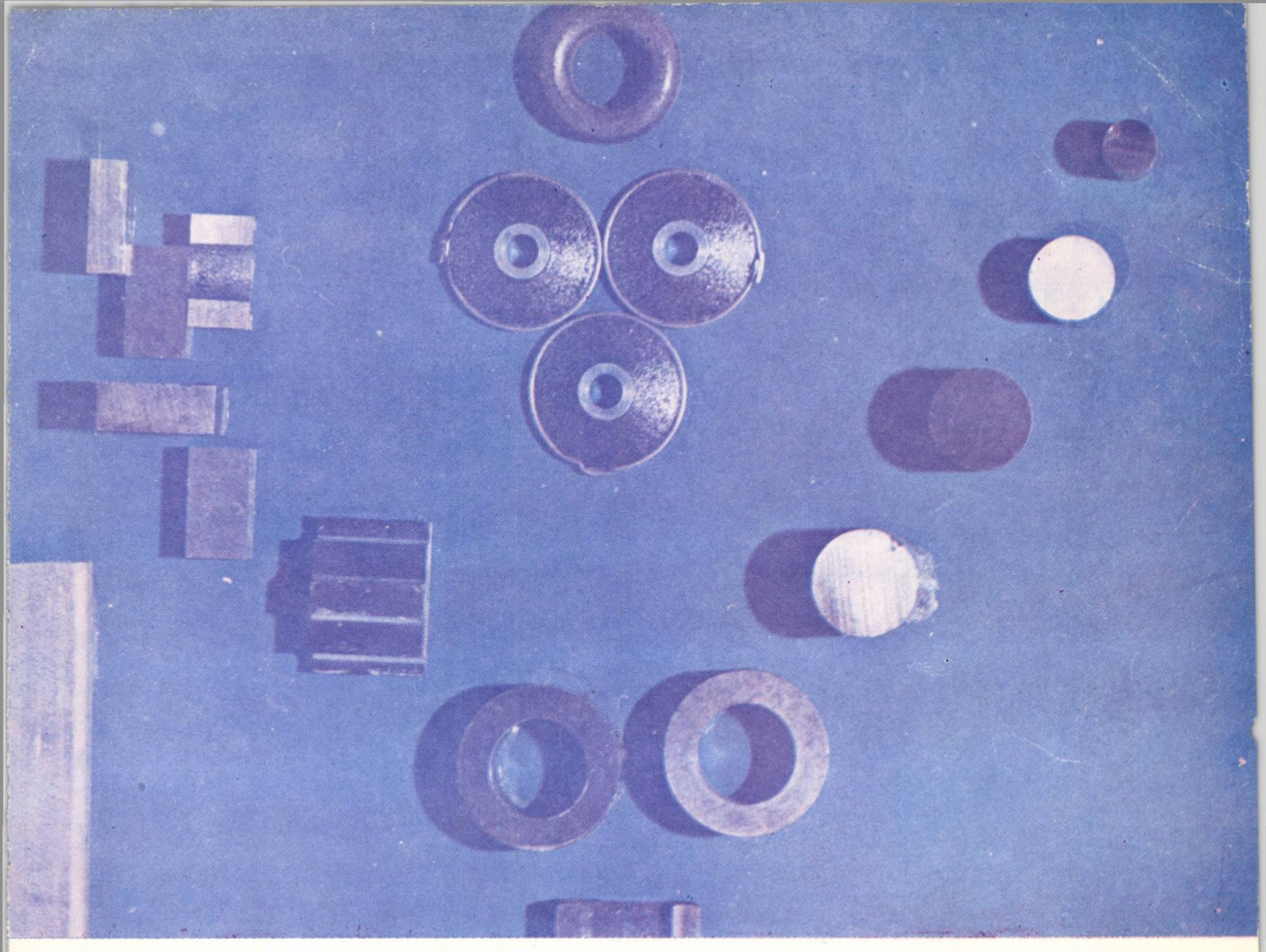
Reprezentanţa comercială a Ambasadei R.D.G în R.S. România
Sectorul Electrotehnică
Bucureşti str. Aurel Vlaicu nr. 147, ap. 6.
Telefon : 11.39.21



Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice apare în cadrul Institutului de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru electrotehnică (I.C.P.E.). Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 şi 695 plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poştal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 301660501 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii, ca şi pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul acestui exemplar 20 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA şi AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export-import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001. — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea poligrafică „Informaţia“
Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 1411



Prin cercetări proprii ICPE realizează:

materiale magnetice permanente de tipul compușilor pământurilor rare cu cobalt, magneți din Mn-Al-C, magneți sintetici Fe-Cr-Co, din particule alungite, forjabile-laminabile, materiale magnetice amorfe, magneți sinterizați, inclusiv magneți de tip ALNICO, într-o gamă foarte variată.

Caracterizați prin performanțe dintre cele mai înalte:

- inducție magnetică de la 3 450 la 11 700 Gs ;
- cîmp coercitiv al inducției, cuprins între 250 și 1 600 Oe,

magneții permanenți și materialele magnetice permanente, produse de ICPE, asigură o funcționabilitate ireproșabilă și îndelungată aparatelor și mașinilor electrice, instalațiilor și utilajelor în care sînt înglobate.

ICPE

ICPE cercetează și produce, ICPE livrează și asigură:

- calitate și fiabilitate,
- asistență tehnică,
- scheme de modernizare,
- service.

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ ȘI INGINERIE TEHNOLOGICĂ PENTRU ELECTROTEHNICĂ

Bd. Tudor Vladimirescu nr. 45-47 București

Tel 31 41 00 ; Telex 10 486

Prin cercetările sale ICPE asigură o largă paletă de instalații și utilaje pentru utilizarea surselor energetice neconvenționale ca:

- Instalații termice cu captatoare și concentrare, module și sisteme fotovoltaice, echipamente pentru producerea, stocarea și utilizarea hidrogenului în utilizarea energiei solare.
- Turbine de vînt de mică putere și medie putere între 0,2–300 kW în utilizarea energiei vîntului.
- Instalații de conversie a energiei valurilor.
- Acumulatoare acide cu P6, pile și baterii staționare din sistemul Zn-aer, pile și baterii de mare capacitate cu stocare îndelungată în domeniul surselor electrochimice.

Specialiștii ICPE vă stau la dispoziție pentru rezolvarea oricărui gen de probleme din domeniul utilizării surselor energetice neconvenționale.

1985 DEC 21